Библиотека по автоматике

В. М. Эйгенброт

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ТЕЛЕМЕХАНИКИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

БИБЛИОТЕКА ПО АВТОМАТИКЕ

Выпуск 538

В. М. ЭЙГЕНБРОТ

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ТЕЛЕМЕХАНИКИ



«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1975

6П2.12
Э 30
УДК 681.326-85

Эйгенброт В. М.

Э 30 Пневматические устройства телемеханики. М., «Энергия», 1975.

88 с. с ил. (Б-ка по автоматике. Вып. 538).

В брошюре рассматриваются особенности каналов связи и специфические конструкции, которые имеются в системах телемеханики, использующих пневматические элементы и устройства.

Брошюра рассчитана на инженеров и техников, специализирующихся в области телемеханики, а также на специалистов, работающих в области пневмоавтоматики, а также может служить учебным пособием для студентов вузов соответствующих специальностей.

Э $\frac{30311\text{-}344}{051(01)\text{-}75}$ БЗ-87-13-74 6П2.12

ВИКТОР МОИСЕЕВИЧ ЭЙГЕНБРОТ

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Редактор *О. В. Гудкова*
Редактор издательства *О. А. Прудовская*
Технический редактор *Н. А. Галанчева*
Корректор *М. Г. Гулина*

Сдано в набор 19/VII 1974 г. Подписано к печати 24/III 1975 г.
Т-06517 Формат 84×108[1]/[32] Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 4,62 Уч.-изд. л. 5,99
Тираж 5 000 экз. Зак. 868 Цена 30 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Системы дистанционного контроля и управления, в которых используются пневматические устройства автоматики, прошли большой путь развития, хорошо зарекомендовали себя на практике в различных отраслях народного хозяйства и достаточно подробно освещены в научной и технической литературе.

В традиционных пневматических системах управления циркулируют непрерывные сигналы, параметром которых является давление сжатого воздуха.

Несмотря на большое разнообразие пневматических систем передачи непрерывных сигналов, их все можно представить в виде одной обобщенной модели (рис. 1).

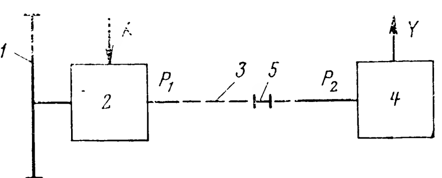


Рис. 1.

К источнику *1* сжатого воздуха (например, магистрали питания) подключено устройство *2*, на выходе которого создается давление p_1, пропорциональное входному (подлежащему передаче) параметру X:

$$p_1 = k_1 X,$$

где k_1 — коэффициент пропорциональности.

Так, например, если устройство *2* является датчиком, то k_1 — крутизна его преобразования. В случае, если устройство *2* служит для дистанционного управления пропорциональным (например, мембранно-пружинным) исполнительным механизмом, коэффициент k_1 определяет связь между положением ручки датчика и развиваемым на его выходе давлением.

Устройство *2* соединяется через линию связи *3* с приемником давления *4* (например, измерительным манометром или полостью пропорционального исполнительного механизма). Величина давления p_2 отождествляется с сигналом, принятым этим устройством.

Положение Y выходного звена приемника давления *4* (например, стрелки манометра или штока пропорционального исполнительного механизма) однозначно (если пренебречь погрешностью преобразования) зависит от давления p_2

$$Y = k_2 p_2.$$

Рассматриваемая структурная схема обобщенной модели имеет три особенности.

Первая особенность заключается в том, что сигнал считается переданным тогда, когда разница между передаваемым и воспринимаемым давлением окажется меньше, чем допустимая погрешность:

$$p_2 - p_1 < \Delta p_{доп}.$$

Изменение давления p_2 под действием изменения давления p_1 связано с перетеканием по линии *3* некоторого количества воздуха, т. е. передача сигналов носит характер массообмена. С учетом того, что в реальных пневматических системах управления скорость потока воздуха в линиях передачи весьма далека от скорости звука, фазовый сдвиг между изменениями p_1 и p_2 оказывается весьма существенным.

Так, например, время передачи [1] давления между двумя приборами системы «Старт» завода «Тизприбор» при правильно выбранном диаметре соединительной линии и ее длине 300 *м* составляет 43 *сек* [Л. 21]. По мере увеличения объема устройства, воспринимающего давление p_2, время передачи соответственно увеличивается.

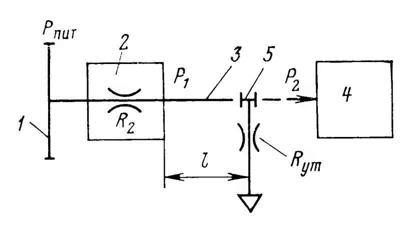


Рис. 2.

Второй особенностью рассматриваемых пневматических систем является зависимость погрешности передачи сигналов от качества выполнения линий.

При значительном расстоянии между устройствами *2* и *4* линию связи по технологическим соображениям обычно выполняют из отдельных участков, которые стыкуются между собой с помощью соединений *5*.

Каждое из таких соединений может обладать негерметичностью (характеристикой негерметичности является сопротивление утечки $R_{ут}$), имеющей тенденцию к возрастанию в процессе эксплуатации системы.

Для анализа влияния утечек на погрешность в передаче давления обратимся к эквивалентной схеме рассматриваемого устройства, изображенной на рис. 2, уточняющей рис. 1.

Пусть R_2 — внутреннее сопротивление устройства *2*, развивающего на выходе давление p_1; l — расстояние от этого устройства до соединения *5*, обладающего сопротивлением утечки $R_{ут}$, а r — сопротивление одного метра линии. Давление p_2, воспринимаемое устройством *4*, в этом случае окажется отличным от давления p_1 на величину

$$\Delta p = p_1 \frac{R_2 + rl}{R_2 + rl + R_{ут}}.$$

Из последнего выражения следует, что с увеличением мощности устройства *2* (т. е. уменьшения его внутреннего сопротивления R_2) погрешность уменьшается.

---

[1] Здесь под временем передачи понимается время, прошедшее с момента скачкообразного изменения давления p_1 до момента достижения давлением p_2 величины, составляющей 0,99 p_1.

Однако даже при беспредельном увеличении мощности (при $R_2 \longrightarrow 0$) погрешность Δp останется отличной от нуля:

$$\Delta p_{R_2 \to 0} \approx p_1 \frac{rl}{rl + R_{ут}}.$$

Обычно $R_{ут} \gg rl$, так как несоблюдение этого неравенства практически означает полный отказ системы. Действительно, при

$$R_{ут} = rl$$

погрешность достигнет значения

$$\Delta p = 0{,}5\, p_1.$$

Из сказанного следует, что

$$\Delta p_{R_2 \to 0} \approx p_1 \frac{rl}{R_{ут}},$$

т. е. с увеличением расстояния места утечки от источника сигнала погрешность в передаче информации возрастает даже при использовании источника большой мощности.

Естественно, что при увеличении количества соединений и погрешность также возрастает.

Следует отметить, что так как соединения отдельных участков линии часто расположены в труднодоступных местах, устранение утечек в них представляет значительные трудности. При большом числе линий (и соответственно мест соединения их участков) эксплуатационные расходы на поддержание достаточной плотности оказываются очень большими.

Третьей отличительной особенностью систем, соответствующих рис. 1, является отсутствие необходимости преобразования сигнала, связанной с передачей его по линии связи.

Иными словами, в идеальном случае и в установившемся режиме параметр сигнала (давление сжатого воздуха) для рассматриваемой системы должен быть одинаковым в любой точке, начиная от выхода устройства *2* (в котором он модулируется передаваемой величиной) и кончая устройством 4, где сигнал используется.

Это главное качество по существу является причиной возникновения первых двух названных выше отличительных черт рассматриваемой системы.

Интересно отметить, что схема, изображенная на рис. 2, имеет глубокую аналогию с системами передачи электрических сигналов. Действительно, при передаче электрических сигналов методом интенсивности на значительные расстояния одним из ограничений, связанных с погрешностью, является влияние утечек и их соотношение с сопротивлением проводов. Только высокое качество современной изоляции и небольшая величина сопротивления проводов позволяют в ряде случаев использовать метод интенсивности при передаче электрических сигналов на расстояния до десятков километров.

Используемая аналогия, как и всякая другая, имеет свои границы. В частности, ограничение действенности аналогии проявляется в том, что в электрических цепях для возникновения существенной утечки необходимо касание (соединение через плохо изолирующий материал) участка провода земли или другого провода; для возникновения утечки в пневматических устройствах достаточно сообщения

внутреннего пространства линии с окружающей атмосферой, являющейся по существу «обратным проводом». Достижение абсолютной герметичности соединений участков труб или мест их стыковки с приборами практически неосуществимо; следовательно, утечки являются неизбежным спутником всех пневматических систем автоматики.

Несмотря на то, что соотношение сопротивлений линии и сопротивлений утечек в электрических системах значительно благоприятнее, чем в пневматических, для передачи электрических сигналов с большой точностью или скоростью все чаще используются методы и приемы телемеханики, имеющие своей сущностью промежуточное преобразование сигналов в форму, оптимальную для передачи по линии связи.

Особо следует подчеркнуть, что принципы телемеханики, первоначально развивавшиеся применительно к проводным каналам и с целями, действительно связанными только с «механикой» передачи на большие расстояния, в последнее время весьма успешно используются для передачи по радиоканалам, а также при передаче информации на малые расстояния. В последнем случае использование принципов телемеханики связано с неудобством применения проводных линий для передачи сигналов обычным методом интенсивности, например, при испытаниях установок, находящихся под высоким потенциалом, движущихся объектов и т. п.

Противопоставляя методы телемеханики «обычному» способу интенсивности, мы имеем в виду, что в некоторых случаях в устройствах телемеханики также используется метод интенсивности, однако при этом используются специальные приемы преобразования сигналов, устраняющие в некоторой степени вредные влияния изменения параметров линии связи. Примером такого преобразования является использование усилителей с отрицательной обратной связью по току в устройствах формирования канала связи. Именно поэтому подобные системы интенсивности относятся к числу телемеханических (см., например, [Л. 2]).

Реализация таких систем возможна благодаря тому, что параметром сигнала является сила электрического тока в отличие от давления (аналогом которого является напряжение), служащего основным параметром сигнала в пневматических устройствах передачи методом интенсивности.

За многие десятилетия развития телемеханики в этой области создан ряд принципиальных теоретических положений и методов расчета отдельных узлов и устройств, нашедших свое отражение в фундаментальных работах Б. С. Сотскова, В. С. Малова и многих других советских и зарубежных ученых.

Однако, несмотря на очевидные преимущества передачи сигналов, основывающейся на принципах телемеханики, т. е. со специальным преобразованием сигналов, до середины 50-х годов пневматические устройства применяли для дистанционной передачи сигналов методом интенсивности.

Одним из важнейших этапов, создавших предпосылки для использования принципов телемеханики в пневматических системах управления, является разработка рядом советских ученых и инженеров элементного принципа построения пневматических устройств, реализованного в виде унифицированной системы элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА). Научная общественность и правительство СССР высоко оценили значение этой разработки, и

группе создателей УСЭППА М. А. Айзерману, П. М. Атласу, Т. К. Берендс, А. А. Талю, А. А. Тагаевской, Т. К. Ефремовой и др. была присуждена Ленинская премия.

С интересующих нас позиций факт создания УСЭППА можно охарактеризовать двумя особенностями. Во-первых, УСЭППА позволила обеспечить непрерывно-дискретное и дискретно-непрерывное преобразование сигналов, представленных давлением воздуха. Во-вторых, создание УСЭППА означало появление элементов, обеспечивающих надежную и достаточно быструю обработку дискретных пневматических сигналов.

Таким образом, можно сказать, что с появлением УСЭППА идеи использования принципов телемеханики в пневматических системах дистанционного управления не только созрели, но и получили элементную базу для своей реализации.

В 1957 г. при разработке с участием автора задачи дистанционного управления большим числом (несколько сотен) запорных органов, расположенных в зоне повышенной пожаро- и взрывоопасности и удаленных от диспетчерского пункта на 500—600 *м*, была выявлена технико-экономическая нецелесообразность построения системы «традиционными» путями, что привело к необходимости поиска новых решений в организации системы управления. Анализ большого числа вариантов показал, что одним из наиболее приемлемых путей создания требуемой системы дистанционного управления при заданном роде энергии сигнала (сжатый воздух) является использование принципов телемеханики, в частности уплотнения каналов связи.

Положительные результаты испытаний пневматической системы ТУ-ТС (телеуправление-телесигнализация) позволили перейти к решению более сложных задач, например передаче результатов измерения технологических параметров на расстояния, значительно превышающие ранее допустимые для пневматических сигналов, телемеханическому изменению уставок местных регуляторов и т. п.

И в этом случае положительные результаты были достигнуты благодаря использованию арсенала принципов телемеханики, в первую очередь благодаря переходу к кодированию результатов измерения и передаче дискретных сигналов взамен непрерывных, ранее применяемых в пневмоавтоматике.

Основные пути перенесения принципов телемеханики в создание пневматических систем управления были изложены автором совместно с Н. Г. Лукьяновым в [Л. 19].

Несмотря на то что со времени появления первых публикаций об использовании пневматических элементов в устройствах телемеханики прошло более 15 лет, специалисты в области телемеханики мало используют пневматическую ветвь средств автоматики в своих разработках.

Одной из главных целей настоящей книги является оказание помощи специалистам по телемеханике в освоении приемов использования пневматических устройств. Именно поэтому автор счел возможным использовать телемеханические термины без подробных разъяснений. В то же время автор рассчитывает, что специалисты в области пневмоавтоматики получат из книги некоторые сведения, полезные им в своей работе.

В [Л. 31] достаточно подробно рассматривается вопрос о причинах изменения позиций автора в отношении введенного нами в то время словосочетания «пневматическая телемеханика». Коротко, суть дела заключается в том, что принципы и методы телемеханики как

научного направления остаются неизменными независимо от того, какой род энергии сигнала и какой канал связи используется. Признаки рода энергии сигнала, вида канала связи, способа модуляции и демодуляции сигналов, частотного диапазона и т. п. присущи лишь устройствам телемеханики и элементам, из которых формируются устройства.

Именно в силу приводимых выше соображений, а также учитывая, что в ней будут рассмотрены те особенности и специфические конструкции, которые появляются в системах телемеханики в связи с использованием энергии сжатого воздуха, мы назвали настоящую книгу «Пневматические устройства телемеханики».

С этих позиций термин «пневмоавтоматика» является также недостаточно обоснованным; ведь под ним понимают средства автоматики, использующие энергию сжатого воздуха. Общие основы анализа и синтеза, структуры и методы изучения одинаковы для всех устройств автоматики независимо от конструкции и рода энергии сигнала. Однако, учитывая распространенность такого словосочетания, мы будем им пользоваться, тем более что его уточнение не входит в круг вопросов, рассматриваемых в настоящей книге.

Наиболее разработанными и достаточно проверенными на практике являются пневматические устройства телемеханики, основанные на применении релейно-мембранных элементов пневмоавтоматики (имеются в виду УСЭППА и сопредельные с ней элементы, например, СКБ «Газприборавтоматика», ЦНИИКА и других организаций), вследствие чего именно этой группе устройств посвящена настоящая книга. Успехи струйной техники и связанные с ними идеи передачи частотных сигналов по пневматическим каналам связи делают заманчивым использование струйных элементов в устройствах телемеханики. Преимущества таких устройств и перспективы их развития отражены в статье автора [Л. 33]. Мы надеемся, что после накопления некоторого опыта и его обобщения в ближайшие годы можно ожидать появления книги по этому животрепещущему вопросу.

Предлагаемая читателю брошюра — не справочное пособие по выбору элементов пневматических устройств телемеханики.

Методической целью автора является формулирование принципов построения пневматических устройств телемеханики и оценки рациональных областей применения их различных вариантов.

В осуществлении задуманного автору большую помощь оказали О. В. Гудкова и Н. Д. Ланин, взявшие на себя труд по редактированию и рецензированию работы. За дружескую критику и ценные советы автор выражает им искреннюю благодарность.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

КАНАЛЫ СВЯЗИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Быстродействие устройства телемеханики, в том числе и пневматического, в основном определяется свойствами канала. Под каналом связи понимается совокупность элементов: формирующего на передающей стороне, приемно-усилительного на приемной стороне и собственно линии связи, соединяющей оба названных элемента.

Применительно к элементной базе УСЭППА в качестве передающих и приемных устройств обычно используются пневматические реле, кнопки, ключи и т. п. Кроме того, иногда в состав передающих

и приемных устройств включаются элементы, предназначенные для ускорения передачи сигналов, о которых речь пойдет несколько ниже. Время срабатывания современных передающих и приемных пневматических элементов настолько мало, что оно практически не влияет на быстродействие канала. По существу пропускная способность (в информационном смысле) канала определяется свойствами линии связи.

1. СВОЙСТВА ЛИНИЙ СВЯЗИ

Для исследования переходных процессов в линиях связи и выбора аппарата исследований необходимо прежде всего определить правомерность отнесения линии к тому или иному классу динамических объектов.

Наиболее близкой аналогией, для которой имеется развитый аппарат исследований, является длинная линия. Основанием для отнесения пневматической линии связи устройства телемеханики к категории «длинной» является соблюдение двух условий. Во-первых, длина линии должна превышать четверть длины волны передаваемых колебаний; во-вторых, поперечные размеры линии должны быть много меньше длины волны.

Исходя из того, что граничная частота f работы элементов лежит в пределах 10 *гц*, определим длину волны λ, соответствуюэтой частоте, полагая скорость a распространения звука равной 330 *м/сек*:

$$\lambda = \frac{a}{f} = \frac{330}{10} = 33 \text{ м}.$$

Таким образом, линии связи, имеющие протяженность более 33/4 *м*, можно исследовать, используя аппарат анализа длинных линий. Забегая несколько вперед, отметим, что внутренний диаметр линий связи измеряется несколькими миллиметрами, т. е. выполняется и второе условие.

Несмотря на сложный характер линии как динамического звена, процессы в ней приближенно и с достаточной наглядностью описываются апериодическим звеном с запаздыванием

$$\tau = \frac{l}{a}, \text{ сек},$$

и постоянной времени

$$T = RCl^2, \text{ сек},$$

где l — текущая длина линии, a — скорость звука, R и C — сопротивление и емкость единицы длины линии.

Причина правомерности подобной аппроксимации лежит в пренебрежимо малом проявлении инерции (в зоне рабочих частот), так как плотность ρ воздуха достаточно мала при низких давлениях, используемых в пневматических устройствах телемеханики.

Экспериментальные исследования достаточно хорошо согласуются с приведенными выше аналитическими результатами. Так, на рис. 3 изображены [Л. 19] процессы увеличения и уменьшения давления на заглушенном приемном конце линий различной длины (*1* — $L=306$ *м*; *2* — $L=204$ *м*) с внутренним диаметром 6 *мм* (пунктирные линии) и 4 *мм* (сплошные линии). Увеличение времени опорожнения линии по сравнению с ее заполнением объясняется тем, что

среднее давление во время опорожнения меньше, чем при заполнении.

На рис. 4 и 5 соответственно изображены амплитудно-частотная

$$p_{вых}/p_{ск}=F_1(f)$$

и фазочастотная

$$\varphi=F_2(f)$$

характеристики трубопроводов разной длины L с внутренним диаметром 5 *мм.*

Большая крутизна амплитудно- и фазочастотной характеристик (даже в инфранизком диапазоне частот) почти исключает возможность применения частотного или число-импульсного методов моду-

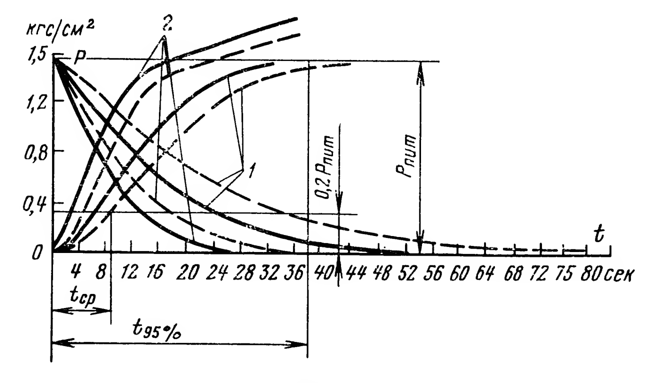


Рис. 3.

ляции сигналов при релейно-мембранной элементной базе. Отметим, что при использовании элементов с глухой приемной камерой наиболее широко используемым способом модуляции (при достаточно большой скорости передачи) оказывается амплитудный.

Обратившись к рис. 3, легко заметить, что с увеличением диаметра линии давление нарастает быстрее. Однако такой вывод справедлив лишь для изолированной линии, т. е. исходя из предположения, что скачок давления формируется источником бесконечной мощности, внутреннее сопротивление которого равно нулю.

В реальных условиях работы линии в составе канала связи источником сигнала является формирующий (передающий) элемент, обладающий существенным сопротивлением. Подробный анализ переходных процессов при источнике, обладающем внутренним сопротивлением, приведен в работе [Л. 25].

Анализ показывает, что для каждого источника сигнала в зависимости от его внутреннего сопротивления $R_{вх}$ существует оптимальный диаметр $d_{опт}$, обеспечивающий минимальное время передачи сигнала:

$$d_{опт}=\sqrt[4]{\frac{64\rho l\nu}{\pi R_{вх}}},$$

где ν — кинематическая вязкость воздуха.

Последнее соотношение определяет такую величину $d_{опт}$, при которой внутреннее сопротивление источника сигнала равно волновому сопротивлению линии, что вполне тождественно известному положению теории электрических цепей.

Что же касается собственно процесса заполнения и опорожнения линии, на входе которой имеется сосредоточенное сопротивление $R_{вх}$, то и в данном случае достаточно удовлетворительную сходимость с экспериментом дает аппроксимация экспонентой. Так, при нарастании давления (скачок $P_{p=0} \longrightarrow P_{ск}$)

$$p = P_{ск}\left[1 - \exp\left(-\frac{t}{(R_{вх} + 0,5Rl)\,Cl}\right)\right].$$

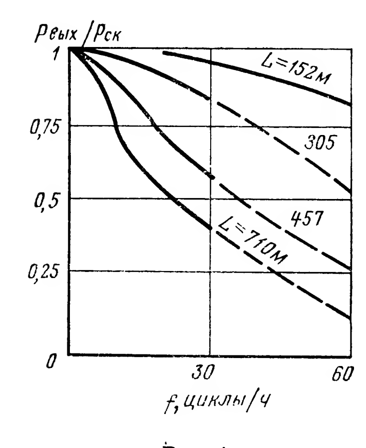


Рис. 4.

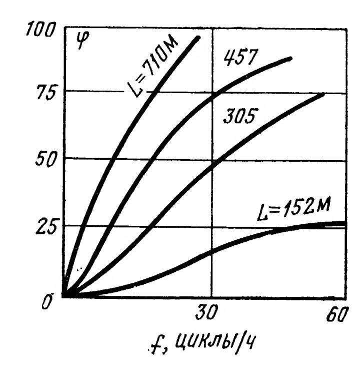


Рис. 5.

Большой ряд допущений, сделанных при выводе основных соотношений, определяющих процессы в комбинации «входное сопротивление — длинная пневматическая линия», заглушенная камерой приемного элемента, нелинейность сопротивления $R_{вх}$, а также сложность вычислений привели к необходимости постановки серии экспериментов. Целью этих экспериментов являлось определение оптимальных диаметров линии связи, с одной стороны, и определение времени передачи сигнала на определенное расстояние — с другой.

Эксперименты, проводившиеся в Московском горном институте под руководством автора при участии В. Н. Тереховского, Л. М. Майзеля и др. [Л. 34], выполнены применительно к реле РУП-1 в качестве передающего и приемного устройства канала связи.

Экспериментальная установка (рис. 6) включает в себя два реле РУП-1: передающее *1* и приемное *2*, линию связи *3*, датчики давления *4*, *5* и *6* с электрическим выходом, пневматический тумблер *7* для подачи управляющего сигнала $p_{упр}$ в реле *1*. Регистрация процессов осуществляется магнитоэлектрическим светолучевым осциллографом *10*, на ленте которого одновременно наносятся метки времени. Для исключения колебаний давления питания в момент под-

ключения к нему длинной линии перед передающим реле (после редуктора-стабилизатора давления *8*) подключена емкость *9*, объем которой во много раз превышает объем линии.

В качестве показателя времени передачи сигнала принимается интервал между временем достижения давления срабатывания в управляющей камере реле *1* (регистрируется датчиком *4*) и появлением давления p_2 на выходе реле *2* (регистрируется датчиком *5*).

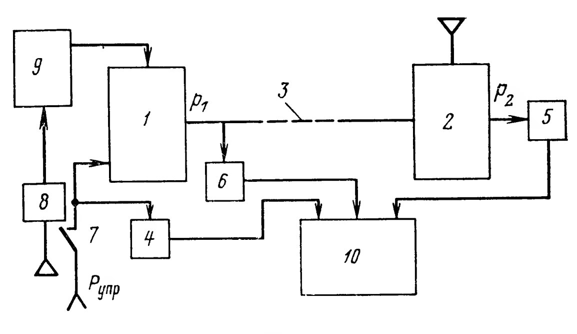


Рис. 6.

Сигналы датчика *6* являются контрольными для определения начала отсчета.

На рис. 7 приведен примерный вид осциллограммы с указанием уровня срабатывания ($P_{ср}$) реле, момента t_1 начала отсчета времени

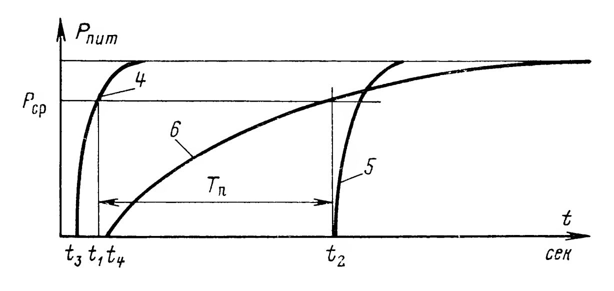


Рис. 7.

передачи сигнала, момента t_2 появления давления на выходе реле *2*, а также времени t_3 включения пневматического тумблера *7*.

Интервал времени между моментом t_4 (начало роста давления на выходе реле *1*) и моментом t_1 представляет собой время срабатывания реле; этот отрезок времени показан в растянутом масштабе времени.

Величина $T_п$ показывает время, принимаемое за время передачи дискретного сигнала по каналу связи. Номера кривых на рис. 7 соответствуют номерам датчиков на рис. 6.

Результаты определения времени передачи сигнала при различных диаметрах *d* линии связи и ее длине *l* приведены на рис. 8.

Как видно из рис. 8, время $T_п$ зависит как от диаметра, так и от длины линии при заданных внутреннем сопротивлении источника сигнала, объеме входной камеры приемного элемента и пороге его срабатывания. Особенно важным является вывод о наличии оптимального диаметра линии связи, обеспечивающего минимум времени $T_п$. Значения оптимальных диаметров, обеспечивающих минимизацию времени срабатывания и отпускания приемных реле, практически совпадают, что объясняется близостью величин сопротивлений формирующего реле при заполнении и опорожнении линии.

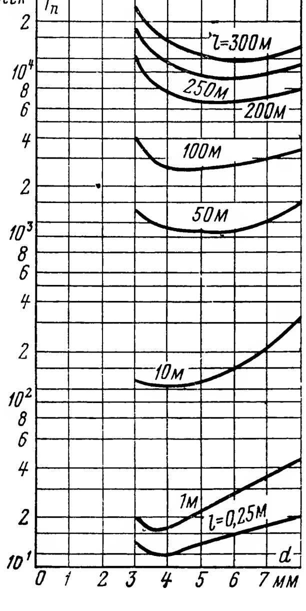


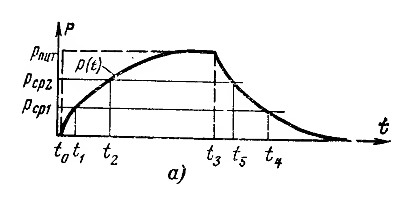
Рис. 8.

2. СПОСОБЫ УСКОРЕНИЯ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ ДАВЛЕНИЕМ ВОЗДУХА

При дистанционном контроле и управлении некоторыми производственными процессами скорость передачи сигналов, обусловленная приведенными выше величинами времени передачи, оказывается недостаточной. Это обстоятельство в некоторых случаях даже исключает возможность применения пневматических устройств автоматики или вынуждает использовать комбинированные (с точки зрения рода энергии сигнала) системы управления. Для уменьшения интервала времени между подачей сигнала (скачка давления) и приемом его (изменением состояния приемного элемента) разработан ряд приемов.

1. Одним из приемов является уменьшение уровня срабатывания приемного элемента. Действительно (рис. 9,*а*), если давление на приемной стороне линии растет по близкой к экспоненте кривой $p(t)$, начиная с момента t_0, когда произошел скачок давления, равный $p_{пит}$ (показан пунктирной линией), то при уровне срабатывания $p_{ср1}$ время срабатывания t_1 наступит намного раньше, чем время срабатывания реле t_2, у которого $p_{ср2} > p_{ср1}$. Однако при подаче нулевого сигнала, т. е. при сообщении с атмосферой выходного канала передающего устройства (начиная с момента t_3), пройдет значительно больше времени $(t_4—t_3)$ до падения давления до уровня $p_{ср1}$, чем до уровня $p_{ср2}$ (момент t_5). Важно отметить, что уменьшение гистерезиса $(p_{ср}—p_{отп})$ приемного элемента не дает в этом случае сколько-нибудь значительного эффекта, т. е. рассматриваемый прием ускорения передачи сигналов оказывается эффективным только для передачи сообщения, характеризующегося повышением давления в канале связи. Передача же сигнала, характеризующегося снижением давления в канале $(p \to 0)$, наоборот, требует большего времени.

Устранение названного недостатка рассматриваемого приема ускорения передачи может быть достигнуто двумя путями. Первый путь заключается в том, что все сообщения передаются только путем увеличения давления. Как видно из рис. 9,*б*, сущность приема заключается в использовании приемного элемента *ПЭ*$_1$, реализующего функцию «память» (*П*), которая «стирается» посылкой ($p \longrightarrow p_{пит}$) в виде повышения давления через отдельную линию *Л*$_2$ в приемный элемент *ПЭ*$_2$, реализующий функцию отрицания и установленный в цепи положительной обратной связи элемента *ПЭ*$_1$. При этом по линии *Л*$_1$, по которой происходит включение элемента *ПЭ*$_1$, с помощью кнопки *К*$_1$, а также по линии *Л*$_2$ (кнопка *К*$_2$), при посылке сигнала через которую происходит выключение элемента *ПЭ*$_1$, посылаются сигналы только в виде скачков давления от атмосферного до давления питания. Естественно, что сигнал, посланный по линии *Л*$_2$, может привести к ожидаемому результату только в том случае, если в момент его посылки давление в *Л*$_1$ будет ниже порога отпускания элемента *ПЭ*$_1$.



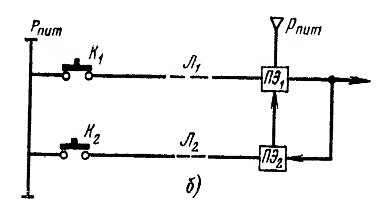


Рис. 9.

Использование рассматриваемого способа ускорения (путем уменьшения порога срабатывания приемного элемента) в таком модифицированном виде пригодно лишь в том случае, когда интервалы между командами на «включение» и «выключение» достаточно велики, а целью применения схемы является уменьшение времени передачи обоих видов сигналов.

Область применения рассмотренного приема ограничена, так как требует увеличения числа линий связи и введения дополнительных элементов, что снижает надежность канала.

2. Другой разновидностью рассматриваемого приема ускорения передачи сигналов является введение перед приемным элементом *ПЭ* (рис. 10,*а*) специального ограничительного элемента *Ог*. Функциональным назначением этого элемента является ограничение давления в линии уровнем $p_{ог}$, несколько превышающим величину давления срабатывания $p_{ср}$ элемента *ПЭ*$_1$. Как видно из графика, изображенного на рис. 10,*б*, время возврата элемента *ПЭ* в исходное состояние (т. е. время выполнения команды «на отключение») также существенно уменьшается за счет того, что начиная с момента t_2 достижения давлением $p(t)$ величины $p_{ог} = p_{ср} + \Delta$ давление $p(t)$ остается на неизменном уровне. Для сравнения на этом же графике пунктиром изображен процесс опорожнения линии при условии, что $p(t)$ достигнет значения $p_{пит}$. Из рисунка наглядно видно, что время $t_{отп}$ при наличии ограничителя существенно меньше времени $t'_{отп}$, которое имело бы место без ограничителя.

Для простоты рассуждений условно принимается, что элемент *ПЭ* не имеет гистерезиса.

Схема одного из вариантов [Л. 35] реализации приема ограничения давления $p_{вх}$ перед приемным элементом после его срабатывания показана на рис. 11,*а*. Ограничение давления $p_{вх}$ достигается с помощью введения дросселя ($R_{др}$) и клапана *К*. После срабатывания элемента *ПЭ* (достижения давлением $p_{вых}$ величины $p_{пит}$) клапан *К* через дроссель $R_{др}$ сообщает с атмосферой тот конец линии $R_л$, который связан со входом приемного элемента. Благодаря сообщению линии с атмосферой давление $p_{вх}$ (после дости-

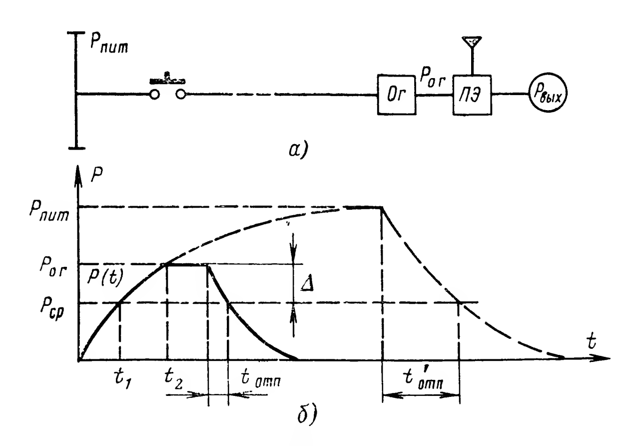


Рис. 10.

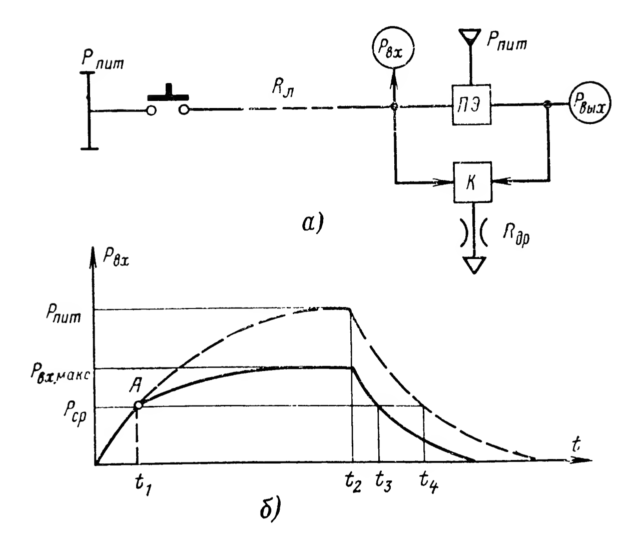


Рис. 11.

жения им величины $p_{\text{ср}}$ приемного элемента) растет медленнее, чем это имело бы место без использования рассматриваемого приема.

Максимальное (в установившемся режиме) значение давления определяется из соотношения

$$p_{\text{вх. макс}} = p_{\text{пит}} \frac{R_{\text{др}}}{R_{\text{др}} + R_{\text{л}}}.$$

Так как $p_{\text{вх.макс}} < p_{\text{пит}}$, время отпускания приемного элемента (при передаче сигнала с символом 0) уменьшается.

Процессы изменения давления $p_{\text{вх}}$ иллюстрируются рис. 11,*б*. В момент t_1 срабатывает приемный элемент *ПЭ* и клапан *К*, вследствие чего начиная с точки *А* давление $p_{\text{вх}}$ растет в соответствии с кривой, изображенной сплошной линией (пунктиром показано изменение давления без использования приема ускорения). Допустим, что в момент t_2 начинается опорожнение линии (передача сигнала 0). В момент t_3 давление $p_{\text{вх}}$ упадет до уровня $p_{\text{ср}}$ и приемный элемент вернется в исходное состояние; время возврата равно $(t_3—t_2)$. Из графика видно, что время $(t_3—t_2)$ меньше времени $(t_4—t_2)$, которому было бы равно время отпускания без использования приема ускорения.

Хотя рассмотренное выше устройство не обеспечивает стабилизации $p_{\text{вх}}$ после срабатывания *ПЭ*, а только уменьшает его установившееся значение, применение его обеспечивает уменьшение времени отпускания в 3—5 раз, что позволяет существенно сократить минимальную длительность передаваемых импульсов.

Причиной достигаемого эффекта является преодоление противоречий между тенденциями в изменении времени срабатывания и отпускания. Действительно, если не используется прием хотя бы частичного ограничения $p_{\text{вх}}$, то при уменьшении порога срабатывания *ПЭ* ($p_{\text{пит}}$ считаем неизменным) время срабатывания последнего уменьшается, а время отпускания растет.

Кстати говоря, к преодолению противоречий в тенденциях изменения времен срабатывания и отпускания под воздействием различных факторов (например, $p_{\text{пит}}$, $p_{\text{ср}}$ и т. п.) можно свести почти все приемы ускорения передачи сигналов.

3. Известным приемом увеличения скорости передачи сигналов является использование блоков предварения, устанавливаемых на приемной стороне канала [Л. 15].

Выходной сигнал на выходе (к нему подключено исполнительное реле) блока предварения приблизительно равен сумме входного сигнала и его производной, умноженной на коэффициент, зависящий от конструктивных параметров блока предварения. Рассмотрим схему и работу блока предварения, а также график изменения давления на его выходе, сопоставленный с областью срабатывания приемного реле, ограниченной давлениями срабатывания $p_{\text{ср}}$ и отпускания $p_{\text{отп}}$.

Работа блока предварения описывается дифференциальным уравнением

$$p_{\text{вых}} = p_{\text{вх}} + T_{\text{д}} \frac{dp_{\text{вх}}}{dt},$$

которому соответствует передаточная функция

$$W(s) = T_{\text{д}}s + 1,$$

где s — оператор преобразования Лапласа.

Структурная схема, соответствующая приведенной выше передаточной функции, изображена на рис. 12. На рис. 13 показана принципиальная схема устройства, реализующего эту структурную схему. Устройство состоит из трехмембранного элемента *1*, в цепи отрицательной обратной связи которого включено апериодическое звено, состоящее из дросселя *2* и емкости *3*.

Выходное давление элемента *1* оказывается равным сумме давлений $p_{вх}$ и его производной $dp_{вх}/dt$, умноженной на величину $T_д$.

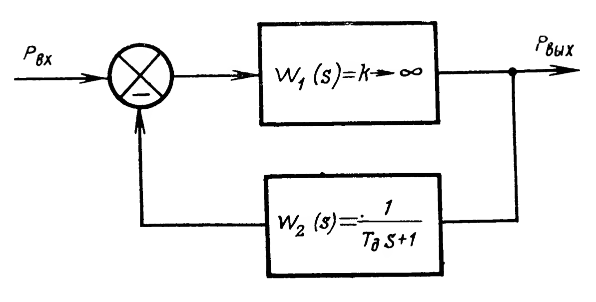


Рис. 12.

Перейдем теперь к рассмотрению совместной работы блока предварения и линии связи, полагая, что входным давлением блока является давление, передаваемое по линии (рис. 14).

Давление в линии при сигнале 0 поддерживается равным величине p_0, бóльшей атмосферного давления, но меньшей величины давления $p_{отп}$ (отпускания реле) и тем более меньшей величины давления срабатывания реле $p_{ср}$. Если в момент $t=0$ подать в линию скачкообразный сигнал, равный давлению питания, то по истечении времени запаздывания $\tau_з$ давление на входе блока предварения начнет повышаться по кривой *1*, близкой к экспоненте. В отсутствие блока предварения реле сработало бы в момент t_B, при котором давление в приемной камере реле превысило бы давление $p_{ср}$ срабатывания реле. Введение в схему блока предварения приводит к тому, что давление на его выходе (т. е. в приемной камере реле) растет быстрее по кривой *2*, вследствие чего реле сработает в момент t_A.

Кривая *2* является суммой давлений, одно из которых определяется кривой *1*, а другое — производной этого давления, умноженной на время предварения.

По мере уменьшения крутизны давления по кривой *1* составляющая от его производной уменьшается; в какой-то момент кривая *2* получит тенденцию к снижению и постепенно дойдет до уровня p_1, несколько превышающего уровень срабатывания $p_{ср}$ реле. Эффект ускорения в передаче сигнала *1* составит $t_B - t_A$.

Пусть в момент $t=t_E$ передающее устройство изменит свое состояние таким образом, чтобы передавался сигнал 0. Через время запаздывания $\tau_з$ давление от уровня p_1 начнет уменьшаться по кривой *3*. Однако давление на выходе блока предварения будет падать значительно быстрее вследствие влияния составляющей от производной. В момент $t=t_C$ кривая *4* пересечет уровень $p_{отп}$ и реле

вернется в состояние 0. Без участия блока предварения возврат реле в состояние 0 произошел бы только в момент $t=t_D$. Постепенно давление после блока предварения достигнет начального уровня $p=p_0$. Таким образом, при передаче сигнала 0 эффект от введения блока предварения составит t_D-t_C.

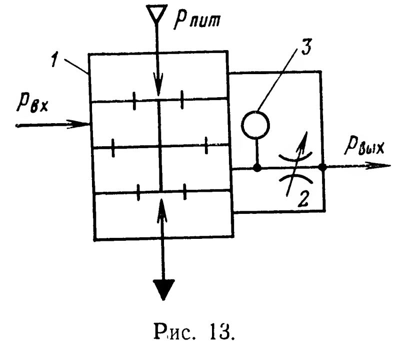


Рис. 13.

Обеспечивая существенный выигрыш в скорости передачи сигнала, рассматриваемый способ, помимо усложнения схемы, требует изменения начального давления с атмосферного до уровня p_0, несколько меньшего давления отпускания. Последнее обстоятельство требует использования точного стабилизатора давления на передающей стороне и снижает надежность за счет уменьшения абсолютной разницы между уровнями, соответствующими сигналам 0 и 1. Кроме того, введение в схему дифференцирующего устройства всегда ведет к уменьшению защищенности от влияния импульсных помех, например скачкообразного изменения давления питания.

4. Интересным способом ускорения передачи пневматического сигнала является введение промежуточных усилителей вдоль линии

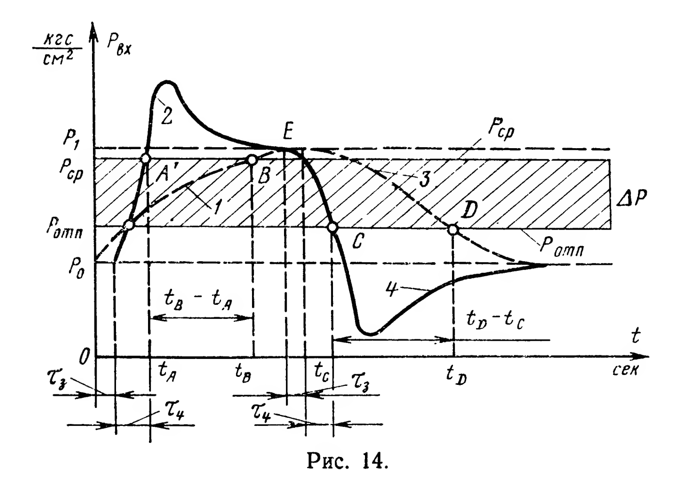


Рис. 14.

связи. При этом вся линия связи длиной L делится на участки $l=L/n$, где n — число участков разбиения. После каждого участка устанавливается усилительное реле. Уровень срабатывания $p_{ср}$ каждого из реле ниже передаваемого по линии сигнала, давление которого равно давлению питания $p_{пит}$. Выходным сигналом каждого

из усилительных реле является давление питания. Принципиальная схема канала, в котором используется рассматриваемый метод ускорения, изображена на рис. 15,*а*, где $П_1$ и $П_2$ — передающий и приемный элементы, $ПУ_i$ — промежуточные усилители, l_i — отрезки линии связи и *ЛП* вспомогательная линия, через которую подается питание $p_{пит}$ к промежуточным усилителям. Процесс передачи сигнала в рассматриваемом канале иллюстрируется рис. 15,*б*. Кривыми $p_i(t)$ показаны кривые роста давления в конце каждого участка. В моменты t_i происходит пересечение этих кривых с уровнем срабатывания $p_{ср}$ каждого из промежуточных усилителей $ПУ_i$; в момент, обозначенный

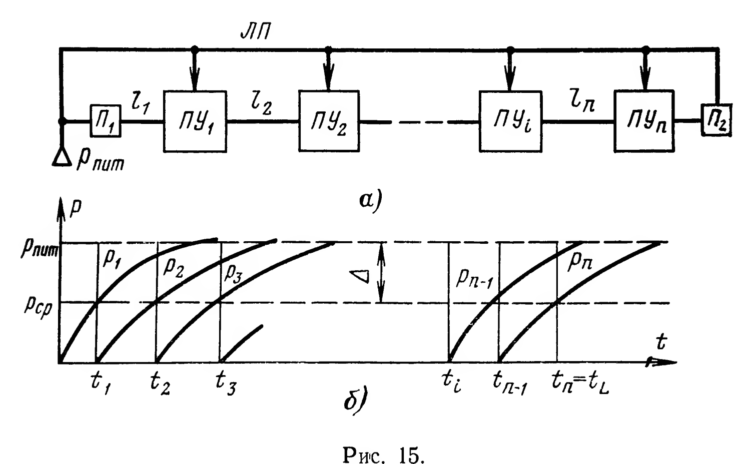


Рис. 15.

t_L, происходит срабатывание приемного элемента $П_2$. Благодаря наличию разницы $\Delta = p_{пит} - p_{ср}$ каждый участок линии можно рассматривать как самостоятельную линию длиной l, в начале которой подается скачок, равный $p_{пит}$. Однако следует иметь в виду, что ко времени передачи сигнала в пределах каждого отрезка добавляется время собственного срабатывания усилителя.

Следует отметить, что чем меньше уровень срабатывания $p_{ср}$, тем выигрыш при передаче сигнала 1 будет больше. Однако при значительном гистерезисе может возникнуть проигрыш во времени при передаче сигнала 0. Исходя из указанных соображений, к выбору усилительных реле предъявляют достаточно жесткие требования.

Обеспечивая во многих случаях достаточный выигрыш во времени, рассматриваемый способ требует наличия линии питания вдоль всей линии связи, а также введения промежуточных усилителей, что отрицательно сказывается на показателях надежности канала.

Анализируя различные варианты построения пневматических каналов, линии связи которых заглушены с одного конца камерой приемного элемента, можно прийти к следующим выводам.

Главной отличительной особенностью канала для передачи дискретных сигналов является изменение сущности понятия достоверной передачи. Во введении уже упоминалось, что под передачей непрерывного сообщения понимается достижение на приемной сто-

роне значения давления, отличающегося от давления на передающей стороне на величину наперед заданной погрешности. При передаче дискретного сигнала фактором достоверной передачи можно считать изменение состояния приемного элемента, наступающего при пересечении кривой изменения давления в конце линии уровня срабатывания приемного элемента. Если принять, что уровень срабатывания составляет примерно $(0,5 \div 0,7)\ p_{\text{пит}}$, то легко показать, что требования к герметичности линии связи намного облегчаются.

Действительно, при допустимости

$$p_2 - p_1 = 0,7 p_1$$

сопротивление утечки $R_{\text{ут}}$ может достигать величины

$$R_{\text{ут}} \geqslant 0,14 R_2 + 0,4 rl,$$

т. е. сравнительно большой величины. Поэтому требования к качеству линии существенно снижаются без уменьшения надежности канала.

Второй особенностью является то обстоятельство, что скорость передачи дискретного сигнала намного больше, чем скорость передачи непрерывного. Так, например, передача дискретного сигнала на 300 *м* составляет 10—12 *сек* без использования каких-либо приемов ускорения передачи.

Третья особенность заключается в том, что для рассматриваемых каналов связи возможно использование приемов ускорения передачи сигнала, хотя оно и связано с дополнительными затратами и снижением надежности функционирования канала.

Как уже говорилось, основным видом модуляции сигнала, передаваемого по пневматическому каналу, приемными и передающими элементами которого служат элементы УСЭППА, является амплитудная модуляция. Однако это не исключает возможности частотной модуляции. Наиболее сложным узлом канала, по которому передается частотно-модулированный сигнал, является приемный элемент с включением в него фильтра. Вопросы синтезирования пневматических фильтров низких частот наиболее полно отображены в работе Н. Д. Ланина и Л. А. Барского [Л. 13]. Согласно этой работе основными элементами фильтра должны быть емкости и сопротивления, так как получить в области низких частот достаточно большое индуктивное сопротивление практически невозможно. Так, например, емкостное сопротивление камеры объемом 50 $см^3$ на частоте 6,28 *гц* составляет $1 \cdot 10^4$ $г/см^4 \cdot сек$. Для получения индуктивного сопротивления примерно такой же величины необходимо использовать капилляр диаметром 0,3 *мм* и длиной 10 *м*. Активное сопротивление такого капилляра настолько больше индуктивного, что его применение для создания индуктивности практически нереально.

В качестве одного из вариантов построения полосовых фильтров из пневматических активных сопротивлений и емкостей рассматривается [Л. 13] использование двух параллельно включенных RC-цепочек и усилителя.

Пусть звенья имеют передаточные функции:

$$W_1(s) = \frac{T_2 s + 1}{T_1 T_2 s^2 + \left(\frac{R_{\text{п}1} + R_{\text{п}2}}{R_{\text{п}2}} T_2 + T_1\right) s + 1};$$

$$W_2(s) = \frac{1}{T_1T_2s^2 + \left(\frac{R_{п1}+R_{п2}}{R_{п2}}T_2 + T_1\right)s + 1},$$

где $T_1 = R_{п1}C_{п1}$; $T_2 = R_{п2}C_{п2}$ и s — оператор преобразования Лапласа.

Общая передаточная функция системы определится:

$$W(s) = \frac{T_2s}{T_1T_2s^2 + \left(\frac{R_{п1}+R_{п2}}{R_{п2}}T_2 + T_1\right)s + 1}.$$

Амплитудно-фазовая характеристика соответственно примет вид:

$$W(j\omega) = \frac{T_2\omega\sqrt{\left(\frac{R_{п1}+R_{п2}}{R_{п2}}T_2 + T_1\right)^2 + (1 + T_1T_2\omega^2)^2}}{1 + T_1^2T_2^2\omega^4 + \left[\frac{R_{п1}+R_{п2}}{R_{п1}}T_2^2 + 2T_1T_2\frac{R_{п1}}{R_{п2}} + T_1^2\right]\omega^2} \times$$

$$\times \exp\left[j\,\mathrm{arctg}\frac{1 - T_1T_2\omega^2}{\left(\frac{R_{п1}+R_{п2}}{R_{п2}}T_2 + T_1\right)\omega}\right].$$

Годографом такой амплитудно-фазовой характеристики является окружность диаметром

$$d = \frac{1}{\frac{R_{п1}}{R_{п2}} + \frac{T_1}{T_2} + 1},$$

касающаяся начала координат.

Зависимость амплитуды и фазы от частоты изображена на рис. 16.

В точке $\varphi(\omega_р) = 0$ величина

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{T_1T_2}}.$$

Для частотного случая, когда $R_{п1} = R_{п2}$ и $C_{п1} = C_{п2}$, т. е. $T_1 = T_2 = T$, получим:

$$W(s) = \frac{Ts}{T^2s^2 + 3Ts + 1}.$$

Соответственно

$$d = \frac{1}{3} \text{ и } \omega_р = \frac{1}{T}.$$

Рассмотренный фильтр составлен только из пассивных элементов и обладает низкой добротностью.

Значительно более высокой добротностью обладает фильтр, имеющий в своем составе пятимембранный усилитель с коэффициентом усиления k, в цепи обратных связей которого включены рассмотренные цепи с общей передаточной функцией $W(s)$.

Принципиальная схема такого устройства изображена на рис. 17,*а*. Схема устройства включает в себя пятимембранный усилитель, эффективная площадь средней мембраны которого несколько увеличена по сравнению с крайними мембранами, что обеспечивает требуемое значение коэффициента усиления k. Пассивная цепь составлена из сопротивлений $R_{п1}$, $R_{п2}$ и емкостей $C_{п1}$ и $C_{п2}$, включенных согласно схеме.

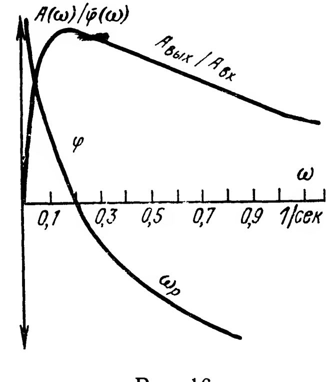


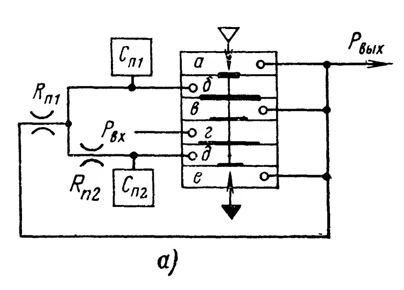
Рис. 16.

Выходные сигналы *RC*-цепочек соединены в фазе (камера *б*) и в противофазе (камера *д*) с входным сигналом $p_{вх}$, который подается в камеру *г* усилителя.

На рис. 17,*б* показана амплитудно-частотная характеристика одной из экспериментальных реализаций описываемого фильтра. Как видно из рисунка, фильтр обладает достаточной добротностью. На резонансной частоте (в окрестности 0,4—0,5 1/*сек*) отношение $p_{вых}/p_{вх}$ при $\omega=\omega_р$ находится в пределах от 60 до 85. Структура фильтра исключает внесение дополнительной погрешности при постоянном значении $p_{вх}$, а его дифференцирующие свойства создают эффект некоторого ускорения в передаче сигналов аналогично тому, как это происходит в блоке предварения.

Выше было отмечено, что пневматические каналы могут работать лишь в области инфранизких частот. Кроме того, величина резонансной частоты в значительной степени зависит как от температуры воздуха, так и от температуры окружающей среды. Причиной девиации резонансной частоты является зависимость емкостей и сопротивлений от температуры воздуха.

Влияние температуры на резонансную частоту имеет особенно важное значение при использовании подобных фильтров для созда-



б)

Рис. 17.

ний пневматических устройств телемеханики с частотно-модулированными сигналами, так как источник и приемник сигналов могут находиться в различных условиях, могут быть удалены на значительные расстояния и получать питание воздухом разной температуры.

3. КОНСТРУКЦИЯ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Специфическим элементом канала связи, конструкция которого существенно отличается от конструкций остальных частей канала, является линия связи.

Действительно, как уже указывалось, передающими и приемными элементами каналов связи независимо от способа модуляции сигналов являются элементы УСЭППА или сопредельных с ней систем (например, элементов, разработанных ЦНИИКА, СКБ «Газоприборавтоматика» и т. п.). Естественно, что комплексы приемно-передающей аппаратуры конструируются и монтируются теми же приемами, что и остальные пневматические устройства автоматики.

Исходя из сказанного, мы в настоящем параграфе ограничимся описанием конструкций линий связи, а также некоторыми сведениями об их монтаже и проверке.

1. *Отдельные трубные проводки.* В течение многих десятков лет развития пневмоавтоматики основным конструктивным материалом для изготовления линий связи являлись медные (позднее, частично стальные и алюминиевые) трубы. Высокая стоимость самих труб и их монтажа, низкая ремонтопригодность, а также широкое развитие пневмоавтоматики, приведшее к резкому увеличению потребности в трубных линиях, привели к почти полной замене металлических труб пластмассовыми (например, поливинилхлоридными) и полимерными (например, полиэтиленовыми).

Областью применения металлических труб остались только помещения с повышенной (или, наоборот, пониженной) температурой окружающей среды, а также помещения с повышенной пожароопасностью. Важным доводом к отказу от металлических труб явились успехи химической промышленности, быстро освоившей требуемые трубные изделия соответствующего качества.

Одним из существенных вопросов, которые встали перед проектными организациями при переходе на пластмассовые трубы, явилась необходимость сравнения их динамических свойств со свойствами металлических труб. Экспериментальные исследования [Л. 6, 7] показали, что динамические свойства пластмассовых линий очень незначительно отличаются от аналогичных свойств металлических линий. Эти различия практически сведены к нулю внедрением соединений нового типа, проходное сечение которых соответствует внутреннему сечению трубопровода.

Для отдельно прокладываемых линий рекомендуются полиэтиленовые трубы, изготовляемые по СТУ 104.644-65, или полихлоридные трубы, изготовленные по МРТУ 6.05.919.63.

Основные данные полиэтиленовых труб приведены в табл. 1 [Л. 24].

Трубы поставляются длиной не менее 250 *м*.

Полиэтиленовые трубы допускается применять в тех случаях, когда температура окружающей среды лежит в пределах —60°÷+50 °С. Полиэтиленовые трубы не разрешается применять в условиях тропического климата и при наличии γ-радиации с интегральной дозой, превышающей $5 \cdot 10^6$ *рад*.

Предельным температурным диапазоном для полихлоридных труб является интервал —40÷+50 °С. В составе пневмокабелей полихлоридные трубы разрешается применять и для пожароопасных помещений.

Таблица 1

Наружный диаметр, *мм*		Толщина стенок, *мм*		Масса 1 *м* трубы, *кг*
Номинальный	Допускаемое отклонение	Номинальная	Допускаемое отклонение	
6	+0,3	1	+0,2	0,016
8	+0,3	1,6	+0,4	0,030

Во избежание механического повреждения полихлоридных труб минимальный радиус их изгиба не должен быть меньше трех наружных диаметров, а полиэтиленовых — шесть. Расстояния между точками крепления полиэтиленовых и полихлоридных труб при прокладке их по горизонтали не должны превышать 300 *мм*, а при вертикальной прокладке — 500 *мм*.

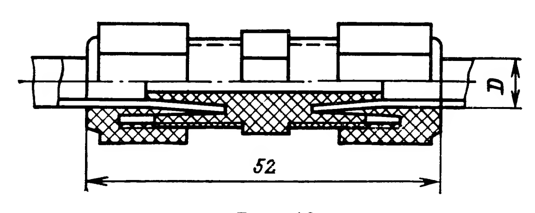


Рис. 18.

Полиэтиленовые трубы рекомендуется применять для наружных (на открытом воздухе) и внутренних проводок; полихлоридные — только для внутренних и главным образом внутрищитовых проводок.

Для соединения участков труб между собой, а также для прохода линий через переборки разработаны и серийно выпускаются пластмассовые соединители. В качестве примера на рис. 18 показана конструкция проходного соединителя типа ПС, предназначенного для соединения труб с наружными диаметрами 6 и 8 *мм*. Соединения изготавливаются заводами Главмонтажавтоматики. В состав арматуры входят также тройники, устройства для подключения манометров, труб к приборам и т. п.

2. *Пневматические кабели*. Централизация систем управления, увеличение числа однонаправленных соединительных линий, а также развитие пневматических устройств телемеханики вызвали появление пневматических кабелей.

Основным конструктивным элементом пневматических кабелей являются полиэтиленовые трубы с наружным диаметром 6 и 8 *мм*. Для комбинированных систем управления, а также для обеспечения удобства монтажа и наладки в состав кабеля обычно вводят электрические сигнальные жилы, хотя возможны модификации и без них. В зависимости от числа труб в кабеле, способа их соединения, конструкции защитной оболочки и пр. пневмокабели классифицируются в соответствии с приводимой ниже табл. 2.

Таблица 2

Марка кабеля	Наименование	Число трубок	Наружный диаметр и толщина стенок трубки, *мм*	Сечение сигнальных жил, *см²*	Наружный диаметр кабеля, *мм*	Примечание
ТПО	Пневмокабель из полиэтиленовых трубок в поливинилхлоридной оболочке	1; 4; 7; 10; 12; 19	6×1	0,5	8,1; 17,7; 22,2; 28,2; 29,1; 35,2 соответственно	Для прокладки в средах с повышенной влажностью, при механической вибрации
		1; 4; 7; 10; 12	8×1	0,75	10,1; 23,5; 28,2; 37,2; 38,4	
		1; 4; 7; 10; 12	8×1,6	0,75	10,1; 25,5; 28,2; 37,2; 38,4	
ТПОП	Пневмокабель из полиэтиленовых трубок в поливинилхлоридной оболочке, в оплетке из стальных оцинкованных проволок	1; 4; 7; 10; 12; 19	6×1	0,5	9,3; 19; 23,5; 29,5; 30,5; 36,5	При наличии паров кислот, щелочей и нефтепродуктов; при легкой вибрации
		1; 4; 7; 10; 12	8×1	0,75	11,3; 24,7; 29,5; 38,5; 39,6	
		1; 4; 7; 10; 12	8×1	0,75	11,3; 24,7; 29,5; 38,5; 39,6	

Продолжение табл. 2

Марка кабеля	Наименование	Число трубок	Наружный диаметр и толщина стенок трубки, *мм*	Сечение сигнальных жил, *см²*	Наружный диаметр кабеля, *мм*	Примечание
ТПОБ	Пневмокабель из полиэтиленовых трубок в поливинилхлоридной оболочке, в броне из стальных лент с противокоррозионной защитой	4; 7; 10; 12; 19	6×1	0,5	19,0; 22,5; 29,0; 30,0: 35,5	Для внутренних и наружных проводок; стоек к механическим воздействиям. Неустойчив к парам веществ, разрушающих броню
		4; 7; 10; 12	8×1	0,75	24,5; 29,0; 37,5; 38,6	
		4; 7; 10; 12	8×1,6	0,75		
ТПОБО	Пневмокабель из полиэтиленовых трубок в поливинилхлоридной оболочке, в броне из стальных лент, в поливинилхлоридной оболочке	4; 7; 10; 12; 19	6×1	0,5	23,0; 26,5; 33,1; 34,0; 40,5	Большие механические воздействия; стоек к парам кислот, щелочей и нефтепродуктов
		4; 7; 10; 12	8×1	0,75	28,5; 33,1; 42,5; 43,7	
		4; 7; 10; 12	8×1,6	0,75	28,5; 33,1; 42,5; 43,7	

Продолжение табл. 2

Марка кабеля	Наименование	Число трубок	Наружный диаметр и толщина стенок трубки, *мм*	Сечение сигнальных жил, *см²*	Наружный диаметр кабеля, *мм*	Примечание
ТПББГ	Пневмокабель из полиэтиленовых трубок, обмотанный лентами из кабельной бумаги, в броне из стальных лент с противокоррозионной защитой	7	8×1,6	—	26,5	Стоек к механическим воздействиям. Неустойчив к парам веществ, разрушающих броню
ТПББ	Пневмокабель из полиэтиленовых трубок, обмотанный лентами из кабельной бумаги, в броне из стальных лент с защитными наружными покрытиями	7	8×1,6	—	31,0	Для прокладки в земле (траншеях); пригоден под засыпку

Внутри кабеля трубы скручиваются концентрическими повивами с шагом, равным восьми-девяти наружным диаметрам повива. В каждом слое повива (внешний и внутренний повивы ведутся в противоположные стороны) две смежные трубы различаются между собой и с остальными трубами контрастными цветами, что в значительной степени облегчает подключение линий к устройствам автоматики. Наличие повивов приводит к некоторому увеличению длины соединительной линии по сравнению с расчетным расстоянием между источником и приемником сигнала.

Как видно из приведенной таблицы, номенклатура кабелей обеспечивает использование их в различных условиях; выпускаемые кабели обладают достаточным разнообразием по числу жил. К сожалению, номенклатура внутренних диаметров пока недостаточна для выбора оптимального диаметра при всех встречающихся в практике внутренних сопротивлениях источников сигналов и длинах линий связи.

При проектировании пневматических устройств, в качестве линий связи которых используются пневмокабели, необходимо выполнение ряда требований по их креплению, расположению, устройствам прохода через стены и переборки и т. п. В частности, минимальный радиус изгиба должен быть не менее 10 наружных диаметров; при температуре ниже —40 °С минимальный радиус изгиба увеличивается до 20 наружных диаметров. Более подробные данные о технике монтажа пневмокабелей изложены в [Л. 24].

Важным этапом при прокладке пневматической линии связи является проверка ее на герметичность (отсутствие утечек). Подробное описание процесса контроля и используемое при этом оборудование приведено в [Л. 12]. Собственно проверке пластмассовых труб и кабелей должна предшествовать выдержка их при пробном давлении в течение 10—15 *мин,* что необходимо вследствие эластичности материала и присущей ей деформации последействия. Величины пробных давлений $p_{пр}$ в зависимости от рабочего давления $p_р$ следующие:

$p_р$, *кгс/см²*	До 1,4	1,4—5	5—10
$p_{пр}$, *кгс/см²*	3	1,5 $P_р$	1,25 $P_р$

Применение пневмокабелей в пневматических устройствах телемеханики позволяет шире применять индустриальные методы монтажа, приближая пневматические линии связи по своей конструкции к электрическим проводным каналам связи.

ГЛАВА ВТОРАЯ

РАЗДЕЛЕНИЕ КАНАЛОВ СВЯЗИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Одной из задач, решаемых устройствами телемеханики, является «уплотнение» каналов связи, под которым понимается осуществление возможности передачи по одному каналу нескольких независимых сообщений. Для уточнения отметим, что под «одним каналом» может пониматься устройство, состоящее из ряда приемно-передающих элементов и нескольких линий. Важным обстоятельством, позволяющим говорить о наличии уплотнения, является уменьшение общего

числа устройств, главным образом линий, по сравнению с таким вариантом построения системы, в котором каждое из сообщений передается по самостоятельному каналу. Кроме того, под «сообщением» при определении уплотнения канала связи мы понимаем передачу сигналов телеизмерения, телеуправления, телесигнализации и т. п. Основные методы уплотнения каналов связи при передаче сигналов телеизмерения и устройства для его реализации будут рассмотрены ниже.

В техническом плане решение задачи уплотнения сводится к разделению передаваемых сообщений и созданию возможности идентифицирования каждого из сообщений к принадлежащему ему источнику информации или контролируемому объекту. Таким образом, в техническом плане понятие «уплотнение» и вынесенное в название главы понятие «разделение» являются в некотором смысле синонимами.

Если абстрагироваться от динамических свойств пневматической линии связи и процессов передачи по ней сигналов с различными способами модуляции, то в пневматических устройствах телемеханики *принципиально* реализуемы те же варианты разделения, что и в электрических устройствах телемеханики.

Рассмотрим каждый из этих вариантов и дадим оценку возможностей его *практической* реализации, опять-таки исходя из известных нам динамических свойств линии связи и в предположении, что аппаратурной базой устройства телемеханики является УСЭППА или подобная ей система средств пневмоавтоматики, отличающаяся наличием глухого объема на входе в каждый из активных элементов.

4. ЧАСТОТНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ КАНАЛОВ

Функциональная схема частотного разделения каналов изображена на рис. 19. Система состоит из набора генераторов F_i с фиксированной частотой настройки F_i, ключей K_i, линии связи $Л$ и избирательных фильтров $Ф_i$.

При использовании системы разделения каналов для передачи данных измерений в схему вводятся модуляторы, модулирующие несущую частоту F_i измеряемым параметром. При выборе частоты

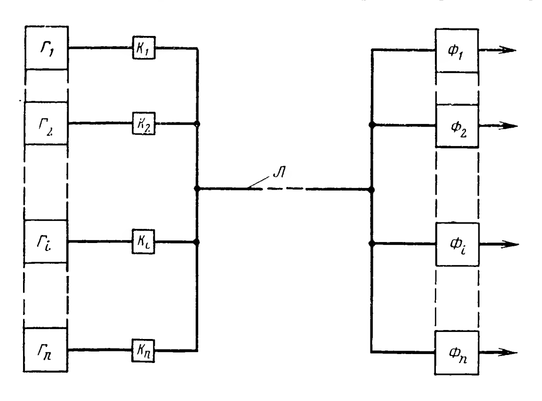


Рис. 19.

F_i возникает ряд противоречий. Во-первых, с увеличением F_i возрастает затухание в линии (рис. 4); во-вторых, с уменьшением F_i возрастают габариты аппаратуры; наконец, увеличение частот каждого канала приводит к тому, что расширяется общая ширина полосы частот. Действительно, общая ширина спектра равна сумме полос частот, к которым необходимо еще добавить защитные полосы, исключающие возникновение перекрестных помех. Из сказанного следует, что при нескольких сигналах вступают в действие оба противоречия — как затухание на высоких частотах, так и громоздкость

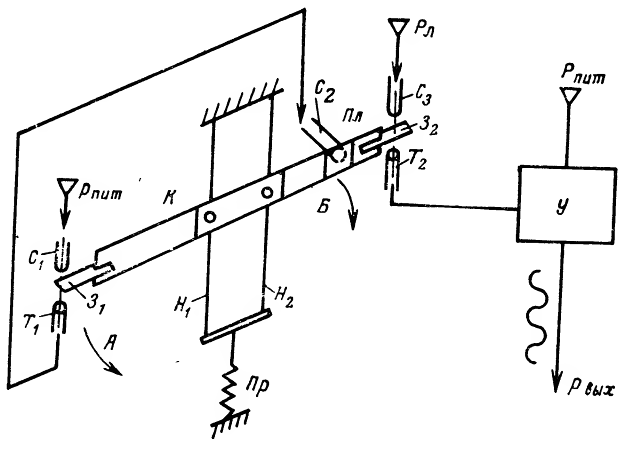


Рис. 20.

аппаратуры в зоне нижних частот. Поскольку структура полосового фильтра была рассмотрена ранее, остановимся на некоторых вариантах построения генераторов и особенностях ключей.

Генераторы могут быть построены по тем же структурным схемам, что и ранее рассмотренные фильтры при условии, что система находится в неустойчивом состоянии [Л. 13]. Однако значительно бóльшей стабильностью и лучшим клирфактором обладают пневмомеханические резонансные системы [Л. 22]. Схема пневматического генератора с механической колебательной системой изображена на рис. 20.

Упругая система состоит из двух металлических нитей H_1 и H_2, сила натяжения которых определяется регулирующей пружиной *Пр*. К нитям жестко закреплено коромысло *К*, с одной стороны которого укреплена заслонка $З_1$, а с другой — пластина *Пл*.

Заслонка $З_1$ располагается в зазоре между питающим соплом C_1, связанным с линией питания сжатым воздухом, и приемной трубкой T_1. В пластину *Пл* ударяет струя, вытекающая из сопла C_2, сообщающегося с трубкой T_1. Расположение заслонки $З_1$ и пластины *Пл*, а также сопл C_1 и C_2 и трубки T_1 выбрано таким образом, что в системе имеет место положительная обратная связь, в результате чего возникают незатухающие колебания. Действительно, если заслонка $З_1$ выйдет из зазора между соплом C_1 и трубкой T_1 (т. е. колебательное звено отклонится от нейтрального положения в на-

правлении стрелки A), то $Пл$ приблизится к соплу C_2. При этом поток воздуха, вытекающий из сопла C_1, попадает в трубку T_1 и далее в сопло C_2, в котором сформируется струя воздуха. Динамический напор этой струи воздействует на $Пл$ и создаст момент, действующий на подвижную систему в направлении стрелки $Б$. Под действием этого момента заслонка $З_1$ перекроет зазор между соплом C_1 и трубкой T_1, истечение струи из сопла C_2 прекратится и исчезнет момент, действующий в направлении стрелки $Б$. Под влиянием упругости нитей система повернется в направлении стрелки A, заслонка $З_1$ вновь откроет путь воздушному потоку, вытекающему из сопла C_2, и описанный выше процесс повторится. Для формирования выходного сигнала используется заслонка $З_2$, периодически перекрывающая поток воздуха из сопла C_3 в приемную трубку T_2. Усиление этих давлений осуществляется усилителем $У$. Соответствующим выбором формы и размеров заслонки $З_2$ удается получить сигнал, весьма близкий к синусоидальному, с достаточно низким содержанием составляющих высоких гармоник.

Интересно также отметить, что, обеспечивая подачу импульсов раскачки (из сопла C_2), средняя линия которых сдвинута по фазе на угол $\pi/2$ относительно перемещения (колебания), можно достигнуть практически полной независимости частоты колебаний от давления питающего воздуха. При изменении последнего может меняться только размах колебаний, который не влияет на качество разделения каналов.

Температурные погрешности частоты колебаний такого генератора сравнительно легко устраняются соответствующим подбором материалов. Важным достоинством рассматриваемого типа генераторов является простота их настройки на требуемую частоту путем изменения натяжения пружины $Пр$.

Последнее соображение особенно выгодно из технологических соображений; действительно, все канальные генераторы $Г_i$ (рис. 19) изготовляются одинаковыми и только в процессе настройки системы телемеханики изменяется сила натяга пружин.

Естественно, что и фильтры можно создавать с использованием пневмомеханических резонансных систем. При этом они будут обладать всеми качествами рассмотренных генераторов. Однако тяжелые условия эксплуатации, обычно свойственные приемным (исполнительным) пунктам в противоположность диспетчерским (командным) пунктам устройств телемеханики, резко ограничивают возможности применения пневмомеханических фильтров на приемной стороне.

Ключи K_i необходимы для введения в линию связи той или иной частоты F_i, признак которой должен в рассматриваемый момент времени появиться на приемной стороне. Принципиально возможно просто включение в нужный момент соответствующего генератора $Г_i$, например, подачей на него давления питания. Однако наличие переходного процесса у генератора (независимо от его схемы) приведет к затягиванию времени передачи и к появлению возможности помехи. Последняя опасность вызвана тем обстоятельством, что в процессе установления свойственной генератору частоты F_i он может генерировать все промежуточные частоты, одна из которых, возможно, совпадает с рабочей частотой F_j. Значительно правильнее поддерживать на выходе генераторов постоянные колебания требуемой частоты и в нужный момент передавать их в линию связи.

Особенностью построения ключей является необходимость выполнения двух условий: линейности (во избежание появления высших гармоник) и достаточно мощного выхода, обеспечивающего согласование с линией связи. Исходя из приведенных выше позиций такой ключ (манипулятор) может быть построен по схеме усилителя при условии, что частоты генераторов лежат ниже области его нормальной работы.

Таким образом, пневматические средства содержат в себе полный набор элементов и схем, позволяющих осуществлять частотное разделение каналов. Однако специфика линий связи приводит к весьма и весьма ограниченным возможностям реализации частотного разделения каналов.

5. ВРЕМЕННОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ КАНАЛОВ

Под временным разделением каналов понимается поочередная передача принадлежащих каждому каналу сообщений по общей линии связи. Временное разделение каналов достаточно часто используется в электрических устройствах автоматики. Рассмотрим один из вариантов пневматического устройства телемеханики с временным разделением [Л. 8].

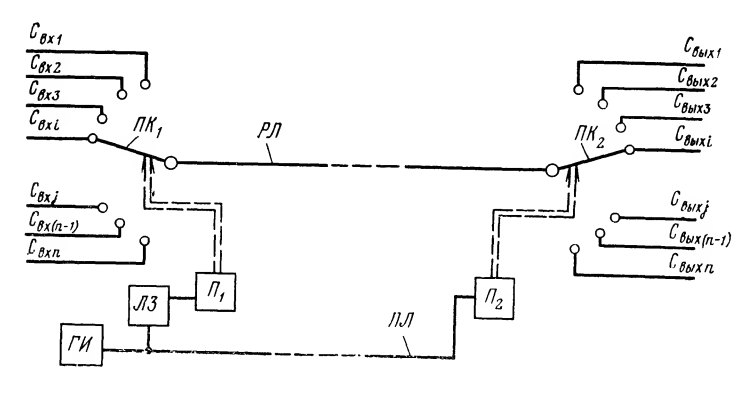


Рис. 21.

Устройство (рис. 21) состоит из n каналов, сообщения которых (на передающей стороне обозначены $C_{вх\ i}$ и на приемной $C_{вых}$) поочередно с помощью переключающих контактов $ПК_1$ (на передающей стороне) и $ПК_2$ (на приемной) подключаются к рабочей линии *РЛ* связи. Переход *ПК* из предыдущего в последующее положение осуществляется с помощью приводов $П_1$ и $П_2$ (на передающей и приемной сторонах соответственно), соединенных между собой переключающей линией *ПЛ*. Импульсы на переключение (перемещение $ПК_1$ и $ПК_2$) вырабатываются генератором импульсов *ГИ*. Для обеспечения синфазности работы приводов $П_1$ и $П_2$ первый из них включается через линию задержки *ЛЗ*, параметры которой выбираются на основании изучения времени запаздывания сигнала в переключающей линии *ПЛ*.

Для увеличения надежности синфазного переключения каналов рекомендуется применять дополнительные устройства синхронизации (на рисунке не показаны), сущность работы которых заключается в проверке соответствия положений $ПК_1$ и $ПК_2$ в конце каждого цикла. Одним из способов такого контроля синхронизации является введение дополнительного канала для посылки с приемного пункта на передающий контрольного сигнала. При нахождении переключателя $ПК_1$ в положении, соответствующем контрольному каналу, происходит логическое сравнение контрольного сигнала с сигналом, поступающим в этот момент времени от датчика положения $ПК_1$. В случае их несоответствия один из переключателей не отключается до тех пор, пока оба переключателя не займут одинакового положения. В момент проверки синфазности все сигналы $C_{вх\, i}$ равны нулю. Остановимся на основных узлах устройства с временным разделением.

Важнейшим из узлов является переключатель каналов, представляющий собой комбинацию из приводов *П* и переключающих контактов *ПК*. Реализация переключающих узлов может осуществляться двумя принципиально различными путями.

Первый путь, более близко соответствующий элементному принципу построения пневмоавтоматики, является схемным. В этом случае как на передающей, так и на приемной сторонах устанавливаются счетные схемы, управляющие клапанами (реле) переключения. Этот путь общеизвестен и достаточно полно описан в литературе [Л. 3]. В устройство УМО-8 [Л. 3] входят счетчик числа импульсов и дешифратор, выдающий команды на управление клапанами. Основным недостатком схемного пути реализации переключателей является большое число элементов, соединенных в схемы счетных триггеров, отличающихся сравнительно невысокой надежностью.

Второй путь (приборный) заключается в использовании специальных конструкций — пневматических шаговых распределителей. Одна из конструкций пневматического шагового распределителя [Л. 14, 13] изображена на рис. 22. Внутри корпуса *1* расположен золотник *2*. Возвратно-поступательное движение штока пневматического привода *5* преобразуется в пошагово-вращательное с помощью храпового колеса *3* и толкателя *4*. Управляющий сигнал от генератора импульсов *ГИ* поступает одновременно в собственно привод *5* и дополнительное управляющее устройство, размещенное в корпусе *1*. Для смещения во время работы дополнительного управляющего устройства в линии подачи к нему давления установлен дроссель *6*. Дополнительное управляющее устройство обеспечивает прижим золотника к плоскости, в которой расположены выходные отверстия. Сообщение магистрали $p_{вх}$ с одной из выходных линий осуществляется только в момент прижатия золотника. Во время нахождения золотника в нижнем положении клапаны *7* перекрывают отверстия каналов $p_{вх}$ и $p_{вых}$. Наличие дополнительного управляющего устройства исключает необходимость тщательной обработки верхней части золотника и соприкасающейся с ней в рабочие моменты плоскости с отверстиями $p_{вых}$. Рассматриваемый шаговый распределитель отличается повышенной надежностью, так как основной причиной отказов большинства других конструкций является потеря герметичности вследствие износа притертых поверхностей.

Привод и дополнительное управляющее устройство получают командные импульсы на переключение от генератора прямоугольных импульсов *ГИ*.

В достаточной степени разработаны и генераторы прямоугольных импульсов. Схема одного из вариантов релаксационного генератора импульсов изображена на рис. 23,*а* [Л. 22]. Генератор состоит из нейтрального трехмембранного реле, включенного по схеме отрицания, сопротивления (пневматического настраиваемого дросселя) R и емкости V. Реле является нелинейным элементов генератора, порог его срабатывания определяется давлением подпора $p_{подп}$.

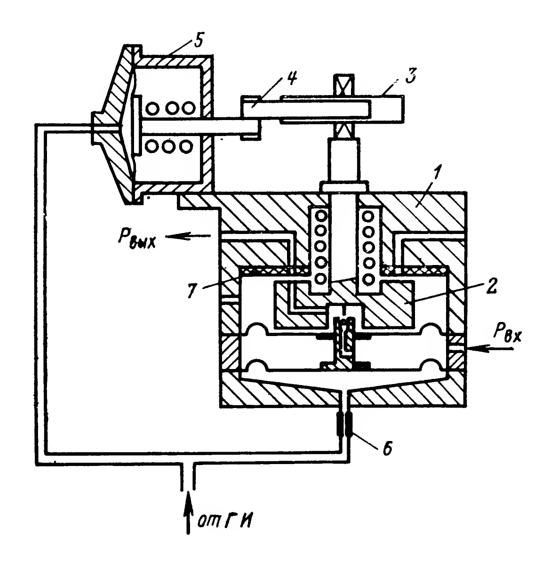


Рис. 22.

В исходном положении (в момент подачи давлений $p_{пит}$ и $p_{подп}$) выход генератора $p_г$ подключен к источнику питания, так как соблюдается неравенство $p_V < p_{подп}$. Через линию обратной связи (ниже сопло реле перекрыто заслонкой) давление $p_г$ поступает через сопротивление R в емкость V. Давление p_V емкости растет по закону, близкому к экспоненциальному, и в определенный момент времени достигнет значения $p_V > p_{подп}$. При наступлении последнего неравенства реле скачкообразно изменит свое состояние, нижнее сопло откроется и через него сообщится с атмосферой выход генератора $p_г$ и емкость V. Давление $p_г$ скачком упадет до нуля, а давление p_V будет уменьшаться постепенно, также по экспоненциальному закону. Через какое-то время давление p_V упадет до значения $p_V < p_{подп} - \Delta$, где Δ — гистерезис реле. При наступлении последнего неравенства реле вновь изменит свое состояние; давление $p_г$ скачком возрастет до значения $p_г = p_{пит}$, а давление p_V начнет расти и рассмотренный выше цикл будет повторяться, т. е. на выходе генератора будут периодически появляться импульсы давления с амплитудой, равной $p_{пит}$. Графики изменения давлений в определяющих точках генератора изображены на рис. 23,*б*. В момент времени t_1 подаются давления питания $p_{пит}$ и давление подпора. На выходе

генератора устанавливается давление $p_г = p_{пит}$, а давление в емкости и камере реле растет до момента t_2, когда p_V превысит $p_{подп}$. В этот момент $p_г$ упадет до нуля, а давление p_V получит тенденцию к уменьшению. При уменьшении p_V до значения $(p_{подп} - \Delta)$ мембранный узел вновь изменит свое положение (момент t_3) и на выходе появится давление $p_г = p_{пит}$. Изменением величин R и V можно изменять период $T_г$ в достаточно широких пределах. Путем введения некоторых усложнений в схему генератора можно получить возможность регулирования не только $T_г$, но и скважности, т. е. отношение $T_и / T_г$ в пределах неизменного значения $T_г$, что в некоторых случаях является желательным.

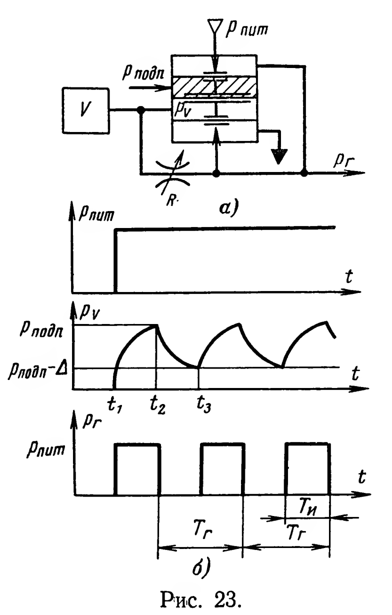


Рис. 23.

Для обеспечения нормальной работы генератора его нагрузкой должна быть глухая камера усилителя или реле-повторителя. Свойственная релаксационным генераторам нестабильность величины $T_г$ не имеет значения при использовании их в устройствах телемеханики с временным разделением каналов.

Входящая в состав устройства телемеханики линия задержки импульсов представляет собой один из вариантов импульсатора.

Функциональной задачей импульсатора, используемого в качестве линии задержки, является смещение переднего фронта импульса на выходе устройства по сравнению с моментом появления импульса на его входе. Время назначается таким образом, чтобы в управляющие камеры приводов $П_1$ и $П_2$ (рис. 21) приблизительно одновременно поступили сигналы на переход переключателей в следующее положение. Это время зависит как от динамических свойств линии связи, так и от уровня срабатывания элементов $П_1$ и $П_2$.

Как и большинство импульсаторов, рассматриваемый узел образуется путем использования комбинации реле с апериодическим звеном.

На рис. 24,*а* изображена схема импульсатора, обеспечивающего смещение фронтов импульса; график его работы показан на рис. 24,*б*. Импульсатор состоит из трехмембранного реле (схема «повторения»), дросселя *Др* и емкости V. В точку схемы, обозначенную $p_{вх}$, поступает импульс давления, а с точки $p_{вых}$ снимается импульс давления, сдвинутый относительно входного на некоторое время. Давление в емкости V и камере *Б* реле назовем давлением $p(t)$.

Пусть в момент времени $t = t_0$ на вход будет подан импульс $p_{вх}$, амплитуда которого достаточна для срабатывания реле $p_{вх} > p_{ср}$. При этом давление $p(t)$ вследствие наличия апериодического

звена будет расти по закону, близкому к экспоненциальному. В момент $t=t_0+\tau_1$ давление $p(t)$ достигнет значения $p(t)\geqslant p_{ср}$, вследствие чего реле изменит свое состояние и на его выходе скачкообразно возникнет давление $p_{вых}=p_{пит}$. Таким образом, начало импульса $p_{вых}$ на выходе импульсатора окажется задержанным на время τ_1 по сравнению с моментом подачи входного импульса $p_{вх}$. Если в момент времени $t=t_1$ входной импульс исчезнет, то давление $p(t)$ постепенно начнет уменьшаться. При $t=t_1+\tau_2$ давление $p(t)$ пересе-

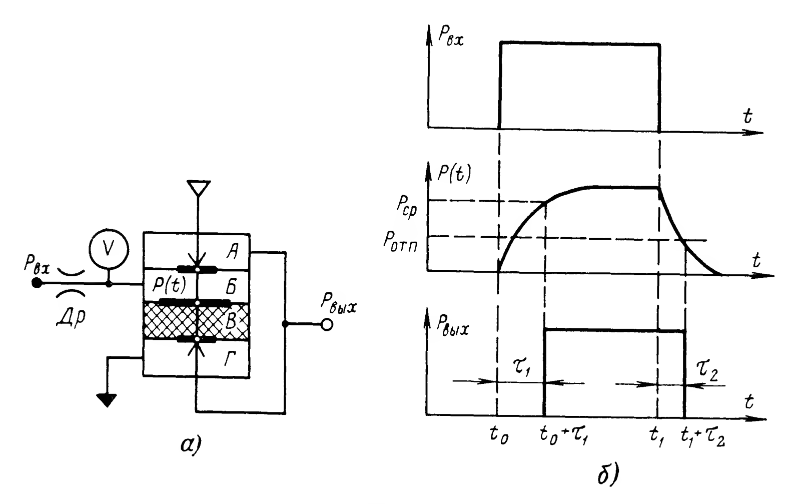


Рис. 24.

чет уровень отпускания реле $p_{отп}$, которое при этом изменит свое состояние, и давление $p_{вых}$ станет равным нулю. Задний фронт входного импульса оказывается при этом задержанным на время τ_2.

Неравенство $\tau_1\neq\tau_2$ вызвано, во-первых, наличием гистерезиса у реле и, во-вторых, более медленным опорожнением емкости V по сравнению с ее наполнением. Различие в величинах сдвигов фронтов импульсов приводит к тому, что длительности входного и выходного импульса несколько отличаются друг от друга:

$$t_1-t_0\neq(t_1+\tau_2)-(t_0+\tau_1).$$

Различие длительностей импульсов сравнительно невелико и практического значения не имеет. Если же по каким-то причинам такое различие нежелательно, можно путем некоторого усложнения схемы импульсатора этот недостаток практически свести к нулю:

$$\tau_2-\tau_1\approx 0.$$

Из сказанного следует, что элементы и узлы пневмоавтоматики могут обеспечить все функции, необходимые для создания устройств телемеханики с временным разделением каналов.

Несмотря на сравнительную простоту реализации и необходимость в малом числе линий связи, пневматические устройства теле-

механики с временным разделением также имеют весьма ограниченное применение. Основным недостатком использования рассматриваемого принципа разделения является большое время, требуемое для передачи сообщений. Даже не рассматривая подробно графиков прохождения сигналов по всем характерным точкам, легко заметить, что время передачи только одного сигнала практически удваивается: необходимо время передачи сигнала на изменение состояния переключателя, а затем лишь передается сигнал, несущий информацию канала. Кроме того, циклический характер работы таких устройств требует большого времени для передачи всех предшествующих сигналов. Например, для передачи сигнала C_{n-1} необходимо совершить n тактов, если переключатель в этот момент находился в положении n.

Некоторым недостатком устройств с временным разделением является также периодический характер работы всех элементов, что сказывается на снижении гарантийного срока службы, выраженного в часах. Здесь уместно подчеркнуть различие в способах оценки гарантийного срока бесконтактных электрических и мембранных пневматических (к последним близко подходят электрические релейные элементы) элементов. Для бесконтактных (например, транзисторных) элементов решающее значение имеет только время нахождения под напряжением, а для мембранных — число изменений состояния или циклов работы.

Указанное выше различие обеспечило преимущественное использование временного разделения в устройствах телемеханики, применяющих электрические бесконтактные элементы.

При сравнении пневматических устройств телемеханики, использующих частотный и временной способы разделения, нельзя не отметить, что последние при незначительном увеличении числа линий связи свободны от перекрестных помех, иногда возникающих при частотном разделении каналов.

6. МНОГОПРОВОДНОЕ (КОМБИНАЦИОННОЕ) РАЗДЕЛЕНИЕ КАНАЛОВ

Предельно простым случаем многопроводного способа разделения является вариант, предусматривающий передачу сообщений каждого канала по отдельной (самостоятельной) линии связи.

При использовании многопроводного способа разделения каналов для передачи m сообщений при k признаках сигнала необходимо n линий связи

$$n = m/k.$$

При двух признаках сигнала (например, наличие и отсутствие давления)

$$m = 2n.$$

Учитывая, что передача давления осуществляется по одной трубной линии (т. е. «обратным проводом» служит окружающая атмосфера), для пневматических устройств телемеханики оказывается справедливым соотношение

$$m = n.$$

Из сказанного следует, что подобный метод разделения вырождается в обычную дистанционную передачу двоичных сообщений.

Стремление к уменьшению линий связи (собственно в этом состоит суть проблемы разделения) привело к появлению комбинационного метода разделения. Применительно к пневматическим

устройствам телемеханики, для которых практически наиболее доступны два качественных признака, многопроводное разделение сочетается с комбинационным выбором, при котором каждому каналу присваивается определенный двоичный код. Подобная система позволяет при тех же n линиях связи передать

$$m=2^n$$

сообщений.

Функциональная схема многопроводного устройства в обобщенной форме изображена на рис. 25. Устройство имеет ключи K_i выбора канала, шифратор $Ш$, линии связи $Л_j$, дешифратор $ДШ$ и

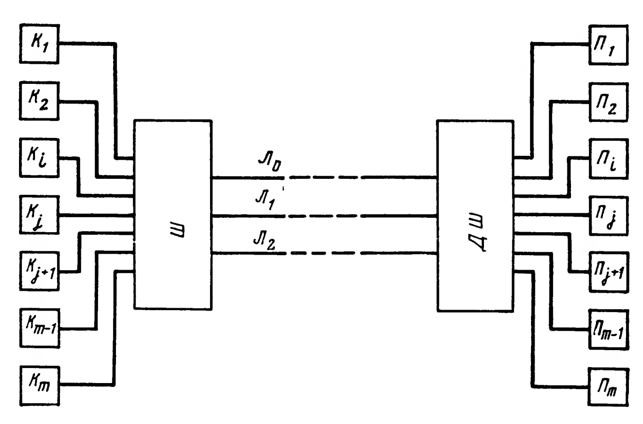


Рис. 25.

приемные элементы $П_i$. При включении одного из ключей, определяющего порядковый номер выбранного канала, сигнал от него поступает в шифратор, на выходе которого образуется двоичный код выбранного канала. Двоичный код в виде комбинаций признаков (в дальнейшем признаку $p=p_{пит}$ поставим в соответствие символ 1, признаку $p=0$—символ 0) поступает в линии связи, через которые попадает на дешифратор $ДШ$. В результате преобразования в дешифраторе на одном из его выходов появляется 1. Структуры шифратора и дешифратора выбраны таким образом, что 1 появляется на том выходе, номер которого соответствует номеру ключа, с помощью которого произведено избирание. Срабатывание приемного элемента обеспечивает готовность канала к принятию приказов (например, на открытие или закрытие исполнительного элемента), которые поступают по специальным линиям (на рисунке не показаны), общим для всех каналов.

На рассматриваемом примере изображено семь ключей и соответственно семь приемных элементов. Для выбора любого из семи каналов достаточно трех линий связи $7<2^3$.

Строго говоря, многопроводная система разделения также, в определенном смысле, является временной, так как в каждый данный момент времени линии обеспечивает работу только одного канала.

Однако отсутствие определенной последовательности в использовании линий и связанное с этим исключение синхронно и синфазно работающих переключателей создают столь большие преимущества многопроводной системе, что практически она является главной в пневматических устройствах телемеханики, хотя и приводит к увеличению числа линий связи по сравнению с другими способами разделения.

Несколько позднее мы рассмотрим специальные приемы (многоступенчатый выбор), с помощью которых удается уменьшить число линий связи, хотя оно по-прежнему останется бóльшим при многопроводном разделении, чем при других известных способах разделения каналов.

В дальнейшем, рассматривая отдельные узлы и устройства в целом, мы будем подразумевать, что речь идет о многопроводном разделении, поэтому в настоящей главе считаем возможным ограничиться приведенными выше предварительными сведениями.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И УЗЛЫ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

При рассмотрении отдельных вариантов систем уплотнения линий связи было показано, что типовые узлы и модули пневмоавтоматики позволяют создавать схемы большинства узлов, являющихся необходимыми для построения пневматических устройств телемеханики.

В настоящей главе будут рассмотрены примеры схем основных элементов и узлов, являющихся специфичными для пневматических устройств телемеханики с многопроводным (комбинационным) уплотнением линий связи.

7. ШИФРАТОРЫ

Одним из специфических узлов устройств телемеханики является шифратор. Назначение шифратора состоит в преобразовании номера избираемого объекта (канала) в двоичный или двоично-десятичный параллельный код. Разрядность кода, образуемого на выходе шифратора, определяется максимальным числом избираемых объектов (каналов). Каждому разряду на выходе шифратора соответствует самостоятельная линия связи. Рассмотрим два основных пути построения шифраторов: элементный (схемный) и аппаратный (приборный).

1. *Элементные (схемные) шифраторы.* Одним из наиболее экономичных вариантов построения элементных шифраторов является использование комбинации пассивных элементов ИЛИ. Принципиальная схема шифратора, предназначенного для преобразования номера избираемого объекта, изображена на рис. 26. Кодирующие ключи K_0—K_9 (кнопки или тумблеры) связаны с выходными шинами *I*—*IV* шифратора через пирамидальную схему, составленную пассивными элементами *ИЛИ*. При переводе одного из ключей K_i в рабочее положение (на рис. 26 в таком положении изображен ключ K_6) давление питания $p_{пит}$ поступает к шинам *II* и *III*. Приняв номер шины на единицу бóльшим, чем соответствующая степень числа *2* (так,

например, шине *III* соответствует $2^{3-1}=2^2$), получим комбинацию давлений на выходных шинах, отображающую номер находящегося в рабочем положении ключа в двоичной системе счисления. Для рассматриваемого примера $6=2^{3-1}+2^{2-1}=2^2+2^1$.

Путь прохождения сжатого воздуха от магистрали $p_{пит}$ и ключ K_6 к шинам *II* и *III* через элементы *ИЛИ* выделен жирными линиями. Все остальные ключи находятся в таком положении, что их выходные каналы сообщены с атмосферой. Для исключения ошибок со стороны оператора конструкция ключей должна иметь блокировку, позволяющую переводить в рабочее положение одновременно не более одного ключа. В связи с тем, что на выходе шифратора образуется код числа, устройства рассматриваемого типа называют также кодирующими.

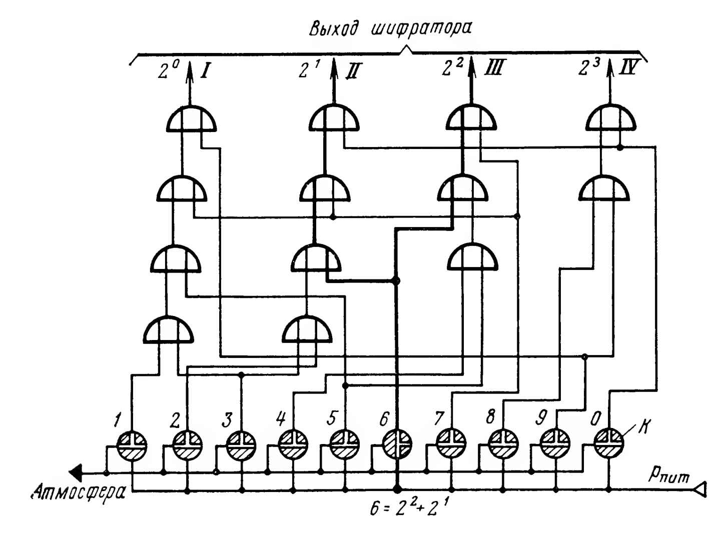


Рис. 26.

При большом числе объектов избирания (и соответственно ключей) часто оказывается целесообразным применение многоступенчатого кодирования. Наиболее распространенным способом многоступенчатого кодирования является раздельное преобразование в двоичную систему счисления разрядов десятичной системы счисления (единиц, десятков, сотен и т. п.). При этом, естественно, ключи также группируются в соответствии с десятичными разрядами. Выбор объекта осуществляется при этом переводом в рабочее положение по одному ключу в каждом десятичном разряде. Например, для выбора объекта с номером 734 переводятся в рабочее положение ключи *7* в разряд сотен (700), *3* в разряд десятков (30) и *4* в разряд единиц 734=700+30+4.

Поразрядное (в десятичной системе счисления) кодирование, как правило, приводит к увеличению числа линий связи.

Так, при тысяче объектов одноступенчатое избирание требует 10 линий связи ($2^{10}=1024$), а при многоступенчатом (поразряд-

ном) — 12 (четыре линии в каждом десятичном разряде). Однако сравнительно небольшое увеличение числа линий связи оправдывается преимуществами, возникающими вследствие поразрядного кодирования. Основными из преимуществ являются уменьшение размеров пульта оператора и повышение удобства набора номера объекта, унификация блоков шифратора и т. п. В схемном отношении шифраторы каждого разряда полностью идентичны.

С точки зрения сокращения числа элементов весьма перспективным для построения шифраторов можно считать использование многовходных элементов *ИЛИ*.

Несколько более подробно применение многовходных элементов для создания узлов телемеханических устройств будет рассмотрено применительно к построению дешифратора.

В зависимости от выбранного способа кодирования (одноступенчатое или поразрядное) несколько меняется структура декодирования, о чем будет сказано в следующем параграфе.

Нельзя не упомянуть, что в некоторых случаях, особенно при большом числе объектов избирания, оказывается целесообразным использование десятичной системы кодирования. Сущность подобного приема состоит в том, что каждый из ключей избирания (в каждом десятичном разряде) связан с отдельной линией связи. При этом для выбора, например, тысячи объектов необходимо иметь тридцать линий — по десяти в каждом из десятичных разрядов. Сравнение с предыдущими вариантами избирания показывает, что количество линий возрастает.

Увеличению числа линий связи противостоит упрощение аппаратуры. Действительно, при рассматриваемом групповом выборе шифратор вырождается и по существу совмещается с ключами; значительно упрощается и дешифратор.

2. *Аппаратные шифраторы.* Основным элементом аппаратных шифраторов является пространственный носитель кода. Одним из вариантов аппаратного шифратора может служить многопозиционный пневматический переключатель, пространственным носителем кода в котором является набор кулачков, в определенных комбинациях включающих встроенные в переключатель конечные выключатели. Поскольку переключатель является аппаратом общепромышленного назначения и его использование в качестве шифратора является отнюдь не типовым применением, в более детальном рассмотрении этого устройства нет необходимости.

Вариант аппаратного шифратора, позволяющего преобразовать в двоичный код достаточно большое число номеров объектов, показан в виде схемы на рис. 27. Вводным элементом шифратора является рукоятка *1* с указателем *2,* перемещающимся относительно циферблата (шкалы) *3,* на котором нанесены номер или названия объектов избирания. Ось рукоятки жестко связана с пространственным носителем кода *4,* в качестве которого изображен барабан с поверхностной неоднородностью. Пространственный код (неоднородность поверхности) воспринимается считывающими устройствами *5.* Сигналы считывающих устройств в виде давления (или его отсутствия) поступают в линии связи *6.* Комбинация сигналов в линиях *6* определяет двоичный код избранного объекта.

Более подробно пространственные носители кода и считывающие устройства будут рассмотрены в разделе, посвященном телеизмерению. Здесь необходимо отметить, что число объектов, выбор которых может производиться одним таким аппаратным шифратором,

в основном определяется разрешающей способностью шкалы шифратора и может достигать нескольких десятков. Для исключения появления ложных сигналов, возникающих в промежуточных положениях рукоятки (во время ее перемещения из предыдущего положения в очередное), в конструкцию шифратора вводятся устройства,

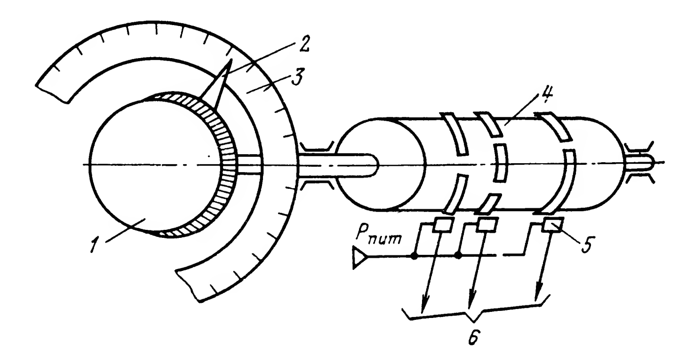


Рис. 27.

отсекающие питание воздухом при вращении (вращение при этом совмещается с нажатием или оттягиванием рукоятки; в некоторых конструкциях в рукоятку встраивается специальная кнопка и т. п.) рукоятки до остановки ее в новом положении, в котором она обычно фиксируется.

8. ДЕШИФРАТОРЫ

Дешифратор представляет собой устройство, обладающее n входами и m выходами. При этом n равно числу линий связи, а m — числу избираемых объектов или каналов. Схема дешифратора строится в зависимости от избранного способа кодирования путем соответствующего соединения логических элементов.

1. *Дешифраторы для перевода двоичного кода в бесконечную (или десятичную) систему счисления.* В качестве примера рассматриваемого типа устройств рассмотрим схему дешифратора, изображенную на рис. 28. Для простоты рассмотрения предположим, что дешифратор имеет три входные ($n=3$) линии $Л_1$—$Л_3$ и восемь выходов ($m=8$). При двух импульсных признаках восемь объектов избирания являются максимально возможным числом ($8=2^3$).

По рисунку легко проследить, что в каждый данный момент времени возбужден (подключен к магистрали питания) только один из выходов $В_0$—$В_7$. При этом порядковый номер возбужденного выхода соответствует двоичному числу, передаваемому в этот момент по линиям связи.

Например, пусть имеется давление в линиях $Л_1$ и $Л_3$, а в линии $Л_2$ давление отсутствует.

Соответственно $2^0+2^2=5$, т. е. выход $В_5$ сообщается с магистралью $p_{пит}$; путь сжатого воздуха к этому выходу выделен жирной лиинеи, которая проходит через элементы «повторение» и «запрет», лежащие на одной вертикали. Ни к одному из остальных

выходов давление не поступает, так как путь воздуху преграждается хотя бы одним из реле, связанных с этим выходом.

При большом числе входных линий и соответствующем возрастании количества выходов становится целесообразным использование многовходных элементов, даже при необходимости введения

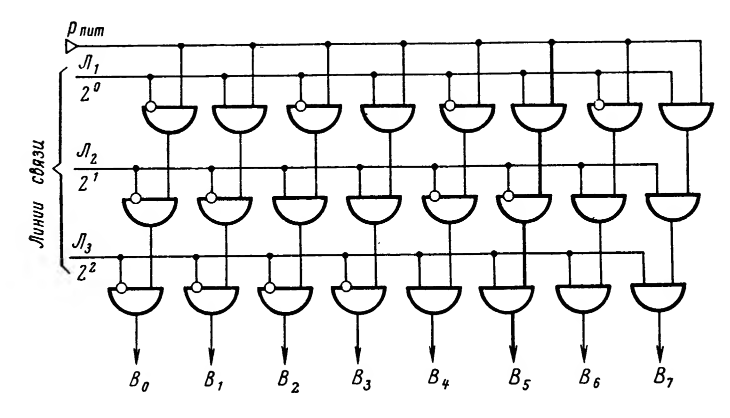


Рис. 28.

элементов, реализующих операцию «запрет». Применительно к рассмотренному выше примеру использование многовходных элементов *И,* разработанных в ЦНИИКА, дает некоторый выигрыш в общем

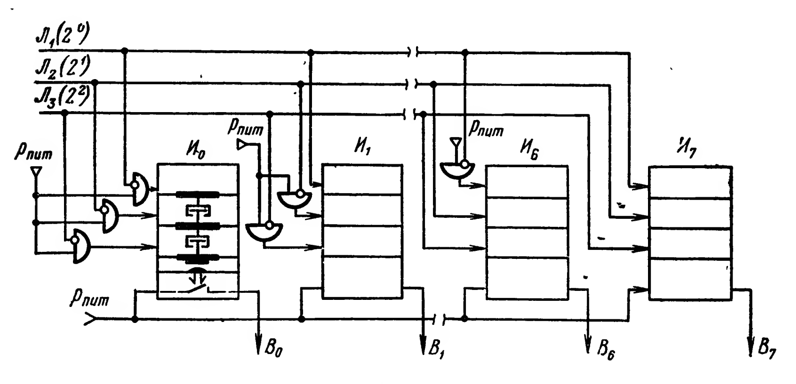


Рис. 29.

числе элементов. На рис. 29 изображен вариант рассмотренного выше дешифратора, отличающийся применением упомянутого многовходного элемента *И,* описанного в [Л. 32].

На рисунке представлена часть дешифратора, ограниченного только выходами B_0, B_1, B_6 и B_7 при трех входных линиях $Л_1$—$Л_3$.

Для пояснения принципа действия раскрыта внутренняя схема только одного многовходного элемента ($И_0$). Остальные элементы ($И_1$, $И_6$ и $И_7$) совершенно идентичны. Давление на входах B_i образуется путем замыкания пневматического контакта, являющегося компонентом многовходного элемента и получающего питание от магистрали $p_{\text{пит}}$. Кстати говоря, полностью активный выход подобных дешифраторов также является одним из его преимуществ. Дей-

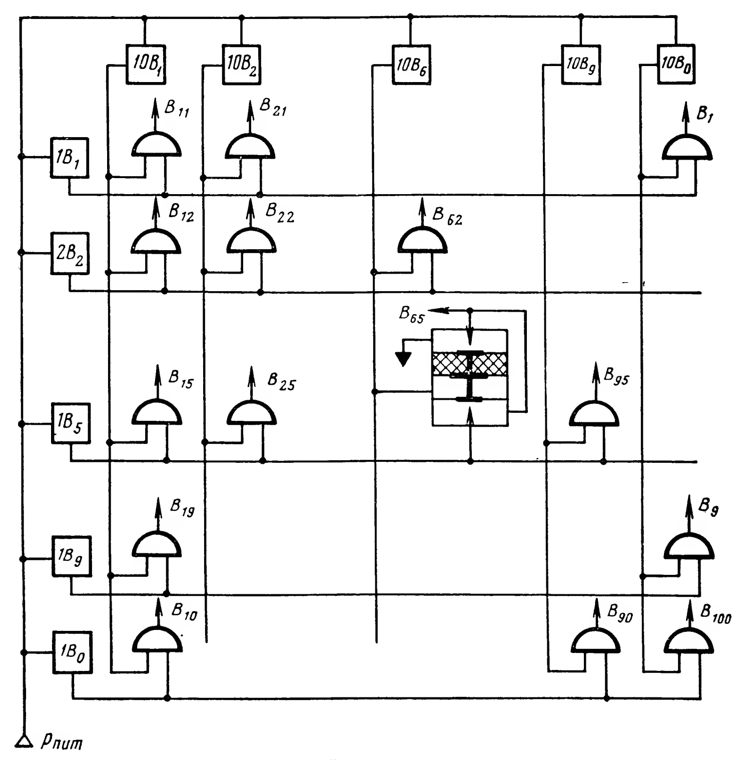


Рис. 30.

ствительно, сообщение выходов B_i с магистралью питания в дешифраторах (рис. 24,*а*) осуществляется через несколько последовательно соединенных контактов. Помимо уменьшения внутреннего сопротивления выхода увеличение активности гарантирует релейный режим работы всех элементов.

Подсчет числа элементов показывает, что даже при простом дешифраторе с тремя входами и восемью выходами использование многовходных элементов обеспечивает экономию в два элемента. Выигрыш возрастает по мере усложнения дешифратора.

2. *Дешифраторы при многоступенчатом кодировании (при двоично-десятичном поразрядном кодировании).* Возбуждение необходимого выхода дешифратора (образование соответствующего канала

связи) при поразрядном (являющемся одним из видов группового или многоступенчатого) избирании осуществляется путем использования приема логического умножения сигналов, тождественных возбуждению выхода одного из разрядов.

Представим себе (рис. 30), что $1B_0$—$1B_9$ — входы дешифратора разряда единиц, а $10B_0$—$10B_9$ — входы дешифратора разряда десятков. Используя изображенную на рисунке схему, можно обеспечить возбуждение любого из выходов B_1—B_{100}, непосредственно связанных с объектами избирания.

Под каждым выходом B_1—B_{100} подразумевается включение элемента *И*, проoизводящего операцию конъюнкции входных сигналов $1B_i$ и $10B_j$. Для пояснения включения элементов *И* на рисунке дана принципиальная схема выхода B_{65}, реализованная на нейтральном трехмембранном реле.

Общие принципы построения шифраторов и дешифраторов приведены в [Л. 2].

9. ЭЛЕМЕНТЫ ВВОДА ИНФОРМАЦИИ В ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ТЕЛЕМЕХАНИКИ

1. *Элементы ручного ввода.* Для выбора объекта управления (или, как иногда говорят, «адреса»), для передачи исполнительного сигнала и т. п. необходимо выполнение ряда операций, осуществляемых оператором через различные элементы ручного ввода (при рассмотрении шифраторов мы их условно называли ключами). Одним из простейших видов таких устройств являются пневматические тумблеры, внешне подобные электрическим. Основным недостатком использования тумблеров является постоянно имеющаяся опасность забывания со стороны оператора возврата тумблера в исходное положение, что может привести к возникновению ложных команд и даже аварийных ситуаций. Тумблеры с самовозвратом, т. е. замыкающие цепь только до тех пор, пока на них осуществляется нажатие, по существу являются кнопками (о которых мы подробнее скажем несколько дальше), отличающимися только видом и конструкцией собственно нажимного устройства. Упомянутая выше опасность ограничивает область применения тумблеров установкой их в цепях длительного включения, например в цепях подачи питания.

Более удобным и соответствено более распространенным видом элементов являются пневматические кнопки. Известно большое число разновидностей пневматических кнопок, различающихся как конструкцией нажимного устройства, так и схемами включений (в частности, как кнопки, замыкающие цепь при нажатии на их головку, так и размыкающие).

Схема одной из наиболее удачных конструкций кнопок (разработана СКБ «Газприборавтоматика») изображена на рис. 31. Отличительными особенностями кнопки является отсутствие «короткого замыкания» во время переходного процесса при изменении состояния кнопки и возможность включения ее как в прямом варианте (при $F \geqslant F_{ср}$ $p_{вых}=p_{пит}$), так и в инверсном (при $F \geqslant F_{ср}$ $p_{вых}=0$, где F — сила нажатия, а $F_{ср}$ — сила, достаточная для перевода кнопки из начального состояния в конечное). Схема, изображенная на рис. 31, отражает положение кнопки при $F=0$.

При подаче питания (этот вариант соответствует включению кнопки в режиме замыкающего контакта; подключение давления

питания обозначено стрелкой с символом $p_{з.к}$) нагрузка кнопки (линия $p_{вых}$) через камеру *Б*, сопло *6*, отверстие в штоке *1* и камеру *В* сообщается с атмосферой (стрелка A_{m_1}).

От магистрали питания линия нагрузки отсечена заслонкой *2*, перекрывающей сопло *3*, которое разделяет камеры *А* и *Б* кнопки. Усилие, необходимое для герметизации пары сопло (*3*) и заслонка (*2*), создается предварительным сжатием пружины *4*. При нажатии на штифт *5* кнопки ($F \geqslant F_{ср}$) шток *1* перемещается и происходит перекрытие его сопла *6* заслонкой *2*. Дальнейшее перемещение штифта *5* со штоком *1* отжимает заслонку *2* от сопла *3*, вследствие чего

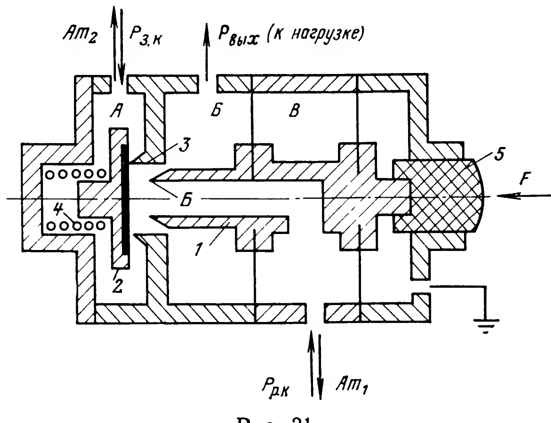


Рис. 31.

воздух под давлением $p_{з.к}$ из камеры *А* попадает в камеру *Б* и далее в линию нагрузки, где создается давление $p_{вых}=p_{з.к}$ (напомним, что отсечение нагрузки от атмосферы произошло ранее — при соприкосновении сопла *6* с заслонкой *2* на первом этапе движения штифта *5*).

В том случае, когда возникает необходимость использовать кнопку в режиме размыкающего контакта, достаточно изменить внешнюю схему подключения. Так, места подачи входного давления (для варианта размыкающего контакта оно обозначено стрелкой с символом $p_{р.к}$) и сообщения кнопки с окружающей атмосферой (стрелка A_{m_2}) меняются положениями. При проектировании пультов устройств телемеханики, содержащих кнопки, включенные по обоим вариантам, необходимо иметь в виду, что усилия $F_{ср}$, необходимые для перевода кнопки из исходного состояния в рабочее, различны и зависят от способа включения кнопки. Причиной различия величин усилий нажатия является изменение соотношения сил, возникающих на мембранном блоке в зависимости от наличия или отсутствия давлений в камерах *Б* и *В* в исходном состоянии (см. [Л. 32]).

Определяя время работы следующих за кнопкой элементов схемы (эти величины времени являются функцией пневматического сопротивления кнопки), следует также иметь в виду, что переходное сопротивление пневматического контакта кнопки существенно зависит от схемы ее включения; кроме того, сопротивления различны при

подаче давления к выходному штуцеру кнопки и при соединении нагрузки с атмосферой.

Недостатком использования описанной выше конструкции кнопки в качестве элементов выбора объекта является необходимость длительного удерживания штифта — до получения подтверждения о выполнении устройством телемеханики всех операций. Кроме того, при многоступенчатом выборе возникает необходимость одновременного нажатия нескольких кнопок (по числу разрядов кодируемого числа). Наконец, при отпускании кнопки (например, после срабатывания шифратора и дешифратора) оператор не может проверить правильность нажатия именно той кнопки, которая предполагалась программой его действий. Кстати говоря, отсутствие возможности самоконтроля (в психологическом плане) часто вызывает у операторов желание проведения повторной операции, является причиной потери внимания и возникновения аварийных ситуаций (здесь под аварийной ситуацией понимается любое нарушение нормального функционирования совокупности «система управления — объект управления»).

Известно несколько путей, обеспечивающих проверку действия оператора, в том числе установка табло с памятью, воспроизводящих действия оператора, регистрация его действий и т. п. Однако эти мероприятия, устраняя психологические последствия использования кнопок с самовозвратом, не снимают вопроса о трудностях, связанных с необходимостью одновременного нажатия нескольких кнопок.

Достаточно радикальным средством, в значительной степени устраняющим все названные недостатки кнопок с самовозвратом (речь, конечно, идет о некоторых специальных случаях применения, например, для выбора номера объекта), является использование кнопок с самоблокировкой и возвратом в исходное состояние по какому-либо внешнему сигналу. На этом пути двумя основными направлениями можно считать применение кнопок с пневматической самоблокировкой и механическими блокировками — защелками.

Схема одного из вариантов кнопки, реализующей замыкающий контакт с пневматической самоблокировкой, изображена на рис. 32. В исходном состоянии ($F=0$; $p_к=0$) давление $p_{вых}$ отсутствует, так как линия нагрузки через камеру *А* и сопло *1* сообщается с окружающей атмосферой. Связь магистрали питания с нагрузкой и атмосферой прервана заслонкой *4*, плотно закрывающей сопло *5* за счет силы предварительного сжатия пружины *7*, упирающейся в заслонку *2*. Заслонки *2* и *4*, а также жесткие центры мембран скреплены со штоком *3*. При нажатии на штифт *6* кнопки с силой $F>F_{ср}$ сопло *5* начинает открываться и давление $P_{пит}$ проникает в линию нагрузки через камеры *Д* и *Г*. Давление, растущее в линии нагрузки, одновременно поступает в камеры *А* и *В*. По мере уменьшения сопротивления в пневмоконтакте с соплом *5* растет сопротивление в пневмоконтакте с соплом *1*, вследствие чего увеличивается давление $P_{вых}$, поступающее также в камеру *В*.

Эффективные площади S мембран $S_{ВБ}$ и $S_{ВГ}$ (индексы при площади S соответствуют камерам, разделяемым мембранами) различны $S_{ВБ}>S_{ВГ}$, вследствие чего равнодействующая сила

$$N=P_{вых}(S_{ВБ}-S_{ВГ})$$

растет по мере увеличения $P_{вых}$ и направлена в ту же сторону,

что и сила F. Соответствие направлений сил F и N может быть интерпретировано как действие положительной обратной связи.

Соответствующим выбором величин $S_{ВБ}$ и $S_{ВГ}$ можно добиться такой глубины обратной связи, что начиная с некоторого значения отношений сопротивлений пневмоконтактов сопл *5* и *1* силы обратной связи N оказывается достаточно для удержания мембранного блока в рабочем ($p_{вых}=p_{пит}$) положении даже после прекращения нажатия на штифт *6* кнопки (т. е. после того, как сила F станет равной нулю).

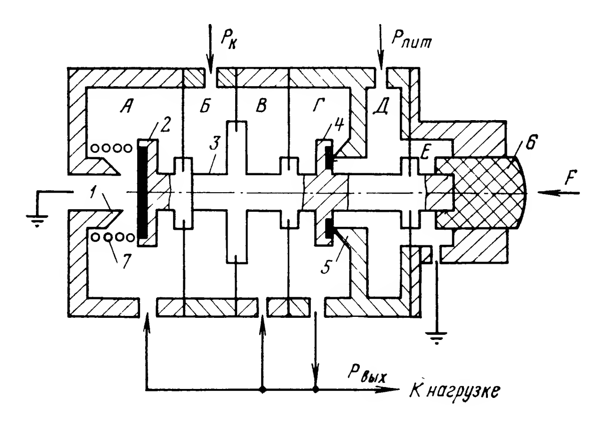


Рис. 32.

Для возвращения кнопки в исходное положение необходимо подать давление $p_к$ в камеру *Б*. Действие давления $p_к$ в камере *Б* вызовет силу, уравновешивающую удерживающую силу N, и кнопка под действием пружины *7* вернется в исходное положение.

Давление $p_к$ может возникнуть под действием сигнала, подтверждающего исполнение распоряжения или сигнала, возникающего при нажатии любой другой кнопки этой же группы (вспомним, что, рассматривая шифратор, мы особо подчеркивали допустимость одновременного перевода в рабочее положение только одного ключа).

Кнопки с самоблокировкой часто используются также при наличии опасности включения агрегата после даже непродолжительного исчезновения давления питания, причем не только в устройствах телемеханики, но и вообще в системах автоматического управления.

В некоторых случаях исключение ошибочного одновременного нажатия двух кнопок достигается чисто механическим путем (по аналогии с клавишными устройствами счетных машин).

2. *Датчики автоматического ввода дискретных сигналов.* Элементы для ручного ввода дискретных сигналов, описанные выше, обычно устанавливаются на диспетчерских пунктах, т. е. на передающей стороне устройств телемеханики. Для получения подтверждения о выполнении команды или для организации системы телесигнализации о предельных значениях технологических параметров, положе-

ниях исполнительных механизмов и т. п. необходимы датчики автоматического ввода дискретных сигналов.

Датчики автоматического ввода дискретных сигналов обычно устанавливаются на исполнительных пунктах, где условия эксплуатации часто бывают значительно хуже, чем в диспетчерских пунктах. Кроме того, удаленность расположения таких датчиков от места постоянного присутствия персонала затрудняет наблюдение за их состоянием. Следует также иметь в виду, что значительная часть датчиков автоматического ввода дискретных сигналов конструктивно связана с исполнительными механизмами и трудно доступна для наблюдения.

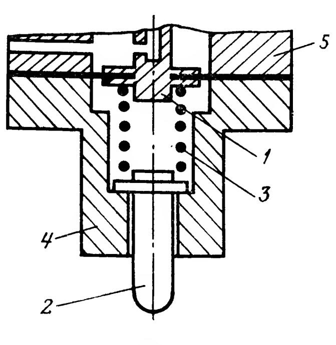


Рис. 33.

Датчики для контроля положения выходных звеньев исполнительных механизмов, а также элементов конструкции управляемого объекта обычно называются конечными или путевыми выключателями. Конечные или путевые выключатели различаются как по виду пневматического контакта, так и по способу кинематической связи пневматического контакта с контролируемым подвижным элементом, т. е. по конструкции вводного устройства. Распространенным приемом создания конечных выключателей является использование изображенных на рис. 31 пневматических кнопок путем добавления к ним узла кинематической связи с контролируемым звеном. В качестве такого узла может быть использована промежуточная пружина, исключающая поломку выключателя за счет прямого нажатия на него вследствие неизбежного наличия люфтов и допусков. Пример реализации [Л. 4] связи пневмоконтакта с узлом ввода, непосредственно воспринимающего механическое воздействие, изображен на рис. 33. Как видно из рисунка, шток *1* пневмоконтакта связан с воспринимающим механическое воздействие штоком *2* через пружину *3*. Шток *2* перемещается в корпусе *4*, закрепленном на крышке пневмоконтакта *5*. Известны модификации конечных выключателей, использующих те же пневмоконтакты, но с другими воспринимающими устройствами, например в виде роликов, закрепленных непосредственно на штоке или в виде качающихся рычагов, также снабженных роликами.

Примером конечного выключателя с качающимся рычагом и золотниковым пневмоконтактом может служить устройство [Л. 11], изображенное на рис. 34. Плунжер *1* золотника перемещается в гильзе *2*, запрессованной в корпусе *3*. Качающийся на оси *4* рычаг *5* через регулирующий штифт *6* передает движение плунжеру *1*. В непосредственном контакте со звеном, положение которого контролируется, находится ролик *7*. Возврат плунжера и рычага в исходное положение осуществляется за счет действия пружины, расположенной в камере *8*, или подачей в эту камеру воздуха под давлением через входное отверстие *9*. Благодаря выточке *10* в плунжере осуществляется пневматический контакт (связь) каналов *AB* и *BC*. Так, в изображенном на рисунке положении плунжера *1* связаны между

собой отверстия *A* и *C*. В крайнем нижнем положении сообщаются отверстия *B* и *C*. В зависимости от того, к какому из отверстий (*A* или *B*) подведено питание сжатым воздухом в выходном канале (отверстие *C*), может осуществляться операция повторения или отрицания входного воздействия, под которым в данном случае понимается механическое нажатие на ролик рычага. Приведенная на рис. 34 схема конечного выключателя с золотниковым пневмоконтактом более пригодна для пневматических устройств, где давление питания существенно превышает обычно принятое в автоматике и составляет, например, 5—10 *кгс/см*^{2}. Однако кинематическая схема, как уже говорилось, при изменении пневмоконтакта остается неизменной.

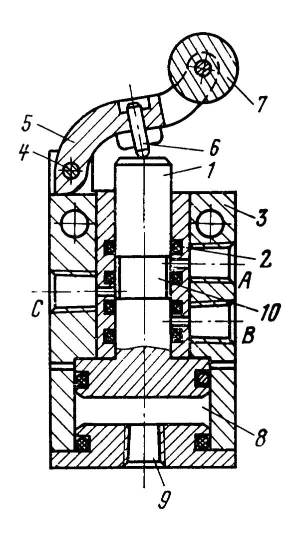


Рис. 34.

Рассмотренные конечные выключатели требуют кинематической связи с элементом механизма, положение которого контрлоируется. Наличие кинематической связи нежелательное само по себе, становится особенно трудно реализуемым в механизмах, обладающих большими люфтами, широкими допусками или малыми развиваемыми силами. Последнее затруднение использования «контактных» (в кинематическом смысле) конечных выключателей объясняется тем, что для изменения их состояния обычно требуются значительные усилия, уменьшение расчетных усилий переключения снижает надежность.

Известны бесконтактные способы контроля положения подвижных деталей с помощью элементов типа сопло — заслонка, сопло — приемная трубка и т. п. Однако названные варианты связаны с требованием жестких допусков или относятся к категории струйных. Использование струйных элементов при принятых (1,4 *кгс/см*^{2}) давлениях питания вызывает большие расходы воздуха, а также создает угрозу засорения приемных элементов за счет всасывания в них пыли и грязи из окружающей атмосферы струей воздуха.

Другим вариантом бесконтактных путевых выключателей является создание магнитопневматических датчиков. Сущность работы магнитопневматического датчика заключается в использовании взаимодействия магнитного поля, создаваемого магнитом, закрепленным на детали, положение которой контролируется, с пластинами, образующими пневматический контакт. Принципиальная схема магнитопневматического датчика [Л. 16] изображена на рис. 35. Корпус *1* датчика выполнен из немагнитного материала. Две камеры (*2* и *3*) корпуса разделены дроссельным каналом *4*. Подача питания сжатым воздухом в датчик осуществляется через отверстие *5*. Давление, отождествляемое с выходным сигналом, отбирается через отверстие *6*. В камере *3* имеется сопло *7*, в комбинации с пластиной *9* представляющее собой управляемый дроссель. Пластины *8* (неподвижная) и *9* выполнены из магнитомягкого материала. Пластина *9* обладает

упругостью и в отсутствие магнитного поля, пронизывающего датчик, находится в состоянии, изображенном на рисунке. Благодаря зазору, имеющемуся между пластиной *9* и соплом *7*, большая часть давления питания падает на дросселе *4*, вследствие чего давление на выходе (отверстие *6*) близко к атмосферному. Символом давления этого уровня принимается 0. На детали механизма, положение которой контролируется, закрепляется магнит *10*. По мере приближения магнита к датчику число силовых линий, пронизывающих пластины *8* и *9*, возрастает, в результате чего увеличивается и сила их взаимного притяжения. Пластина *9* изгибается и приближается

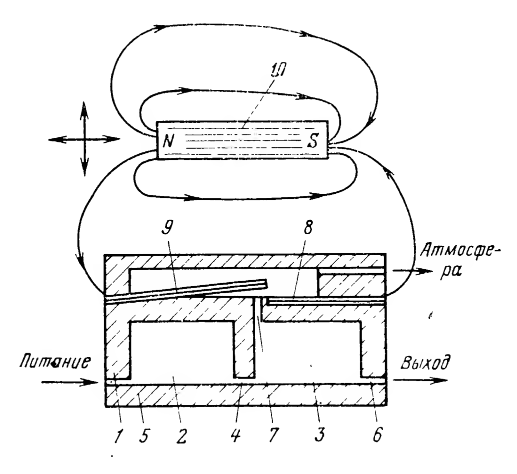


Рис. 35.

к пластине *8*, одновременно закрывая сопло *7*. Хотя датчик и не содержит элементов с ярко выраженной релейной характеристикой, выходной сигнал близок по форме к дискретному. Причиной близости выходного сигнала к скачкообразной форме является наличие положительной обратной связи, как это имеет место в электрических магнитоуправляемых контактах. Физическая интерпретация обратной связи может быть пояснена следующим образом. По мере сближения пластин (даже при неизменном общем потоке, развиваемом магнитом *10*) концентрация силовых линий в рабочем зазоре возрастает, растет также сила их взаимного притяжения, имеющая ярко выраженную нелинейность. Таким образом внутренняя структура датчика обеспечивает достаточно большую крутизну преобразования магнитного поля в положение пластины *9*. Сочетание приведенной выше характеристики с большой крутизной пневматического элемента сопло — заслонка обеспечивает почти релейный характер выходного сигнала. При некотором приближении пластины *9* к соплу *7* сопротивление последнего настолько возрастает, что перепад давления на дросселе *4* резко уменьшается и давление выхода становится близким к давлению питания. При контроле положения деталей, обладающих значительными ферромагнитными массами, возможно обра-

щение датчика, при котором магнит располагается на датчике, а подвижная деталь по мере приближения шунтирует развиваемое им поле, вследствие чего пластина *9* отходит от пластины *8*. Естественно, что при этом датчик реализует функцию отрицания, если приближение детали по-прежнему считать единичным значением входной переменной. При использовании магнитопневматических датчиков в пневматических устройствах телемеханики следует иметь в виду, что они обладают значительным внутренним сопротивлением, во всяком случае не меньшим, чем сопротивление дросселя *4*. Из сказанного следует, что при диаметре линии связи, оптимальном для всех элементов (оптимальной для них в смысле скорости передачи сигналов), после магнитопневматического датчика, вероятно, целесообразно устанавливать реле-повторитель с меньшим внутренним сопротивлением.

Помимо рассмотренных выше устройств для автоматического ввода двухпозиционных сигналов разработано и выпускается промышленностью значительное число других конструкций, различающихся типом пневмоконтактов, элементами, воспринимающими механические воздействия, и способами сочетания этих основных узлов. Выбор конкретного варианта осуществляется исходя из проектных соображений, включающих в себя также стремление к однотипности элементов.

Определяя назначение устройств ввода дискретной информации, мы упоминали о необходимости контроля (сигнализации) предельных уровней параметров. Предполагая, что параметры измеряются пневматическими средствами, на выходе которых развивается непрерывный сигнал в виде давления воздуха, изменяющегося в диапазоне от 0,2 до 1 $кгс/см^2$, получение дискретных сигналов может быть достигнуто использованием любого из реле давлений, интервал уставки которых лежит в названном диапазоне. Такого рода реле давления являются общепромышленными (не специфичными для устройств телемеханики) приборами, и в их рассмотрении нет необходимости.

Иногда возникает необходимость в контроле механизмов, состояние которых характеризуется непрерывными положениями узлов или достаточно большим числом дискретных положений. В этом случае датчики положений (состояний) по своей структуре приближаются к датчикам для телеизмерения, которые будут рассмотрены в гл. 4 книги.

10. ИНДИКАТОРЫ УСТРОЙСТВ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Для представления оператору сообщений о выполнении команд, положении исполнительных устройств и отдельных деталей механизмов, заданных значений параметров, а также подтверждений правильности выбранных команд используются различного вида индикаторы. В пневматических устройствах телемеханики (имеется в виду, что отсутствует преобразование в электрическую энергию) используются оптические и акустические индикаторы. Поскольку оптические индикаторы имеют более широкое распространение, им будет уделено больше внимания. Отличительной особенностью пневматических визуальных индикаторов является отсутствие у них собственного свечения, вследствие чего обеспечение требуемых инженерно-психологических свойств для них затруднено по сравнению с электрическими индикаторами. Отсюда возникает необходимость увеличения размеров пневматических индикаторов, обеспечивающих требуемую наглядность.

1. *Двухпозиционные индикаторы.* Двухпозиционные индикаторы имеют много разновидностей как по виду представляемой оператору информации, так и по конструктивным особенностям. Основное внимание будет уделено первому признаку.

Простейшим видом пневматического двухпозиционного индикатора является устройство, называемое пневмолампой. Схема [Л. 16] пневмолампы изображена на рис. 36. В корпусе *5*, закрытом сферическим прозрачным колпаком *7*, расположена резиновая мембрана *2*, закрытая разрезной шторкой *1*. Колпачок крепится к корпусу гайкой *6*. В исходном состоянии устройства мембрана за счет собственной упругости имеет плоскую форму и закрыта разрезной шторкой черного цвета. При подаче внутрь корпуса и в подмембранное пространство давления воздуха (сигнал равен *1*) мембрана растягивается и, раздвигая шторки, заполняет все сферическое пространство внутри линзы колпака, плотно прижимаясь к ее поверхности. Яркая окраска резиновой мембраны становится достаточно хорошо заметной оператору. Сферическая форма линзы колпака обеспечивает видимость сигнала не только при прямом взгляде на панель щита (крепление к показанной на рисунке пунктиром панели осуществляется с помощью гайки *4* и шайбы *3*), но и сбоку, что является несомненным преимуществом рассматриваемого типа индикаторов ИП-1. Вариантом индикатора ИП-1 является устройство типа ИПЗ-1, содержащее кроме пневмолампы обратный клапан и кнопку сброса. Входной сигнал в виде давления сжатого воздуха заполняет объем лампы и соединительных коммуникаций внутри индикатора и сохраняется в нем некоторое время (расчетное время памяти составляет 2 *ч*); для гашения сигнала нажатием кнопки сброса выпускают накопившийся воздух и мембрана возвращается в исходное положение.

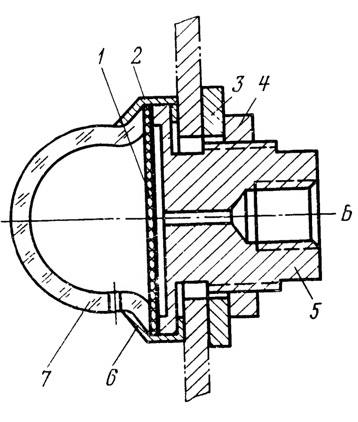


Рис. 36.

Дефектом пневмолампы является сильное растяжение резиновой мембраны от исходного до рабочего положения, что приводит к потере ею упругости и ограничивает срок службы всего устройства.

С целью увеличения срока службы в Институте горной механики и технической кибернетики имени М. М. Федорова группой сотрудников предложен индикатор [Л. 21], в котором благодаря введению маски уменьшена деформация резиновой мембраны. Индикатор (рис. 37) состоит из цилиндрического корпуса *1*, прозрачного экрана *2*, маски *3*, эластичной пластины с лепестками *4* и цветной мембраны *5*. Маска *3* представляет собой плиту с пазами. При подаче входного сигнала в виде давления воздуха мембрана растягивается, раздвигает лепестки и просматривается через пазы маски. Плоское смотровое стекло уменьшает угол наблюдения за состоянием индикатора. В то же время возможность придания пазам маски различной (на изображенном индикаторе пазы выполнены в виде

прямоугольных порезов) формы позволяет более четко заметить изменение состояния индикатора при небольшом угле между направлением линии зрения и нормали к панели. Кроме того, возможность придания пазам символической формы (например, стрелок) создает предпосылки к использованию индикаторов в мнемосхемах. Меньший объем воздуха, заполняющий внутреннюю полость индикатора, сокращает время его срабатывания. В индикаторе рассматриваемого типа время срабатывания составляет приблизительно 50 *мсек*. При управлении сложными объектами с помощью электрических средств автоматики, помимо индикаторных ламп, находят себе применение табло с надписями, отражающими содержание сигнала. В пневматических устройствах телемеханики при необходимости представления сигнала с надписью могут быть использованы подвижные устройства, надпись на которых становится видимой только в момент подачи сигнала. Примером такого устройства может служить табло типа ТСП-1 (рис. 38), разработанное в СКБ «Газприборавтоматика» [Л. 16]. Вялая мембрана *2* зажата между деталями *1* и *3* корпуса. Центральная часть мембраны опирается на грибок штока *7*, запрессованного в индикаторное поле *4*, на торцовой части, обращенной к оператору, наносится необходимая надпись или изображение. В исходном положении пружина *8* прижимает шток *7* и прилегающую к нему мембрану *2* к детали *1*. Индикаторное поле при этом закрыто шторкой *6*, фиксируемой в этом положении пружиной *5*. При подаче давления в штуцер, закрепленный в детали *1*, мембрана нажимает на грибок, который вместе со штоком и индикаторным полем перемещается в противоположное крайнее положение. Во время всего движения деталь *4* поворачивает шторку *6* по стрелке *А* на 90°, при этом заводится пружина *5* и надпись индикатора становится видимой оператору, наблюдающему надпись в направлении стрелки *Б*. Подбором контрастности цветов окраски рабочего поля, надписи и обрамления состояние индикатора может быть сделано достаточно заметным.

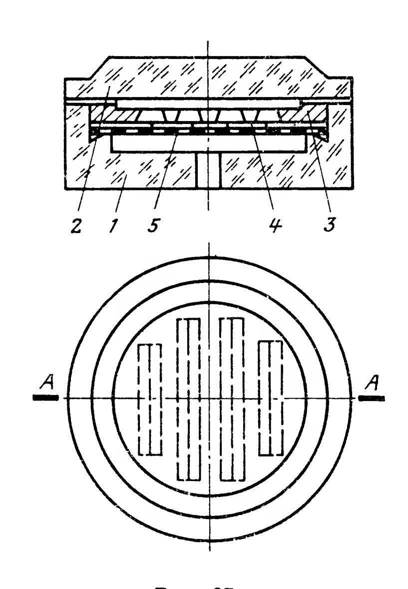


Рис. 37.

Некоторым недостатком устройства является недостаточное использование площади индикатора, т. е. малое отношение площади надписи к площади, занимаемой устройством на щите, на котором он монтируется.

Важным конструктивным отличием табло от рассмотренных ранее индикаторов является использование в нем вялой мембраны, в которой не создается больших напряжений от сил растяжения и

изменение ее свойств почти не влияет на качество индикации. Стремлением уйти от использования такой деформации резины, которая определяет свойства индикатора, объясняется применение манометрических устройств с металлическими упругими элементами. В основе конструкции манометрических индикаторов лежит замена стрелки яркой полосой, скрывающейся в прорези шкалы в одном из состояний индикатора или видимой постоянно, но поворачивающейся на определенный угол, например 90°. При этом полоса, заменяющая стрелку, и находящийся под ней экран-шкала ярко контрастны по цвету. Последний вариант индикатора удобен для включения его в состав мнемосхемы; в этом случае направление полосы вдоль ли-

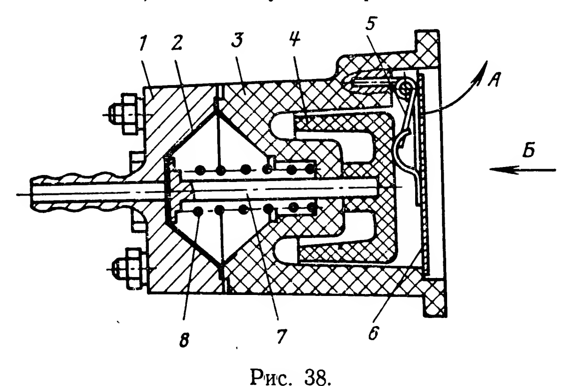


Рис. 38.

нии, означающей трубопроводную коммуникацию, соответствует открытому (пропускающему) состоянию задвижки, мнемонически отражаемой индикатором; поворот полосы поперек — закрытому состоянию запорного органа.

Как известно, использование мнемосхем существенно облегчит работу оператора и повысит надежность системы управления. В электрических устройствах телемеханики мнемосхемы нашли широкое применение и успешно развивается их элементная база. В соответствии с требованиями инженерной психологии разработаны светящиеся элементы, мнемонически не только отражающие собственно коммуникации, но и способные изменять свое состояние при замене протекающего продукта, отражать его наличие или отсутствие, и, наконец, отражать предельные изменения качества протекающего продукта. При создании элементов электрических мнемосхем используются самые различные физические явления, в том числе свечение раскаленных тел (лампы накаливания), электролюминесценция, свечение ионизированного газа вблизи электродов (ионные приборы) и т. п.

В пневматических устройствах представления информации мнемосхемы с изменяющимся состоянием линий, отображающих коммуникации, практически пока не находят себе применения. Основной причиной, вероятно, является отсутствие светоизлучающих элементов, о чем уже говорилось выше. Перспектива прямого преобразования механической энергии в свет (например, путем использования триболюминесценции или термолюминесценции с подогревом за счет пульсации давления) является достаточно отдаленной и требует

больших предварительных исследований до осуществления возможности их практического применения.

Однако перспективность использования элементов мнемосхем, отражающих состояние коммуникационных линий, все же вынуждает искать пути их создания. Вообще говоря, в качестве элемента мнемосхемы можно было бы использовать один из индикаторов специальной формы с растягиваемой упругой резиновой мембраной. В то же время недостатки, связанные с большим внутренним напряжением в материале мембраны, заставляют вести поиски в других направлениях.

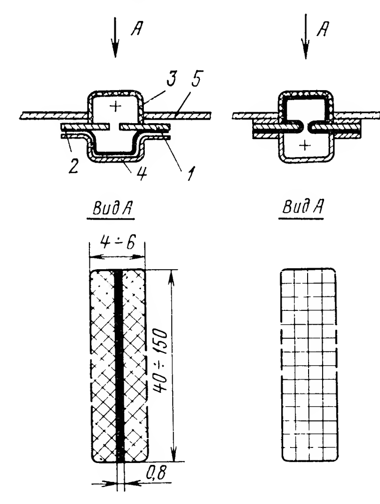


Рис. 39.

В качестве одного из вариантов создания элемента мнемосхемы можно рассмотреть устройство (рис. 39), в котором вялая мембрана *1*, например, перемещается давлением воздуха через узкую щель в диафрагме *2* и заполняет полость под прозрачным экраном *3* при подаче давления (знак «+») в нижнюю часть элемента (в правой части рисунка, вверху). Возвращение мембраны в исходное состояние может осуществляться подачей воздуха сверху мембраны под прозрачный экран; мембрана при этом переместится через щель диафрагмы *2* в нижнюю часть элемента *4* и плотно прижмется к стенке без растяжения. Подборкой цвета диафрагмы *2* и мембраны *1* можно добиться определенной контрастности при изменении состояния элемента мнемосхемы. Элемент устанавливается в прорезь панели *5* снизу. В левой части рисунка изображены разрез и вид по линии наблюдения элемента при подаче сигнала в прозрачную часть элемента мнемосхемы, в правой части — в нижнюю.

В первом случае при взгляде на элемент (по стрелке *А*) оператор увидит поле диафрагмы (ее цвет обозначен штриховкой в косую клетку) с темной прорезью посередине; во втором случае оператор через прозрачный колпак увидит окрашенную резину (ее цвет обозначен горизонтальной штриховкой).

К сожалению, создание линейных элементов мнемосхем пока еще является делом будущего, хотя усложнение систем, управляемых с помощью пневматических устройств телемеханики, настоятельно требует их разработки и изготовления.

При развитых панелях (щитах) управления или для сигналов, требующих привлечения особого внимания, в частности сигналов, свидетельствующих об аварийной ситуации, возникает необходимость применения акустических сигнализаторов, например сирен или свистков. Это необходимо также тогда, когда при установке на панели большого числа оптических индикаторов возникает опасность пропуска оператором изменения состояния одного из индикаторов. Поскольку эта проблема является общей для устройств телемехани-

ки, небезынтересно обратиться к используемым для этих целей электрическим устройствам телемеханики, где накоплен достаточно большой опыт.

2. *Схемы сигнализации с оптическими и акустическими индикаторами.* В электрических устройствах телемеханики широко развиты системы, получившие название схем с центральным съемом звукового сигнала. Сущность устройств подобного рода заключается в том, что при наличии значительного числа зрительных индикаторов

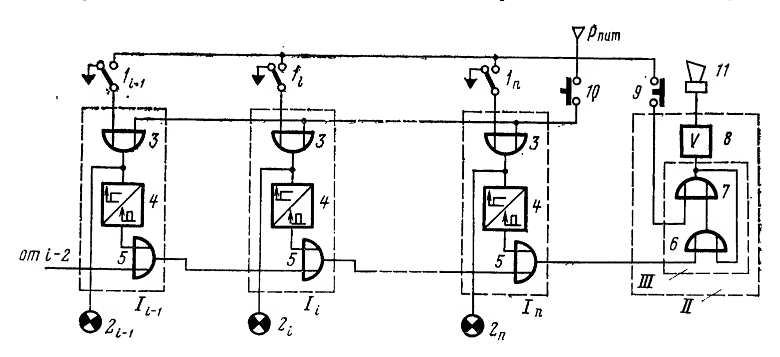


Рис. 40.

имеется один общий для всех звуковой индикатор, включающийся каждый раз, когда хотя бы один из оптических изменит свое состояние. Звучание акустического индикатора происходит до тех пор, пока оператор не подтвердит, что он заметил изменение состояния оптического сигнала, иначе говоря, пока он не квитирует (от слова квитанция — подтверждение) звуковой сигнал определенными действиями.

В связи с тем, что обычно одновременно изменяют свое состояние один или небольшая часть из общего числа оптических индикаторов, для их выделения при появлении звукового сигнала изменившие свое состояние оптические индикаторы светятся (применительно к электрическим устройствам) мигающим светом. После квитирования звукового сигнала зрительные индикаторы сохраняют состояние, отражающее информацию от объекта, но горят ровным светом. Применительно к тенденции организации темных мнемосхем (т. е. таких, у которых в нормальном состоянии объекта все индикаторы отключены) единичное (светящееся) состояние индикатора сохраняется до возвращения объекта контроля к нормальному состоянию. В электрических устройствах телемеханики используется большое количество разнообразных вариантов построения схем с центральным съемом звукового сигнала. В настоящее время созданы пневматические схемы с центральным съемом звукового сигнала, реализующие практически все известные законы функционирования электрических схем.

Рассмотрим (рис. 40) один из простейших вариантов пневматической схемы с центральным съемом звукового сигнала [Л. 29]. Схема получает сигналы в виде давления воздуха на одном из выходов дешифратора (в данном случае имеется в виду, что дешифратор

установлен на диспетчерском пункте и получает сигналы по каналам телемеханики от датчиков, находящихся на исполнительных пунктах), которые представлены в виде замыкающих пневматических контактов *1*. Каждому из выходов дешифратора соответствует оптический индикатор *2*, связанный с контактом *1* через элемент *ИЛИ 3*, служащий для проверки исправности схемы сигнализации. Параллельно индикатору *2* подключен импульсатор *4*, преобразующий ступенчатый сигнал в импульс определенной длительности. Выход импульсатора через элемент *ИЛИ 5* поступает к следующему из индивидуальных блоков I_i, образованному перечисленными выше элементами и ограниченному на рисунке пунктирными линиями. Вторым входом элемента *5* блока I_i является выход предыдущего индивидуального блока I_{i-1}. Выход элемента *5* последнего I_n индивидуального блока поступает в центральный блок *II*. Центральный блок содержит входной элемент *ИЛИ 6*, элемент *И 7* и усилитель мощности *8*. Входными сигналами центрального блока *II* являются уже упоминавшиеся выход элемента *5* блока I_n и давление питания, постоянно поступающее к элементу *7* через размыкающую кнопку *9*. Замыкающая кнопка *10* служит для проверки схемы. Схема работает следующим образом. Пусть поступило давление (замкнулся контакт I_i) в индивидуальный блок I_i. Давление, пройдя элемент *ИЛИ 3*, поступит на индикатор 2_i и одновременно на импульсатор *4*. В ответ на ступенчатый сигнал неопределенной длительности (практически, пока замкнут контакт I_i) на выходе импульсатора возникает кратковременный импульсный сигнал, который, пройдя через элементы *ИЛИ 5* всех блоков I_n—I_i, поступит на один из входов элемента *ИЛИ 6*. Пройдя через этот элемент, сигнал поступит на второй вход элемента *И 7*, на первом входе которого постоянно имеется давление, поступающее от кнопки *9*. В результате конъюнкции сигналов на входе элемента *7* на его выходе возникает давление. Это давление направляется к усилителю мощности *8*, управляющему работой гудка *11*, и на второй вход элемента *7*. Композиция, составленная из элементов *И 7* и *ИЛИ 6*, представляет собой ячейку памяти *III*, также выделенную пунктиром. В результате запоминания ячейкой памяти импульсного сигнала, поступившего от импульсатора блока I_i, усилитель *8* остается возбужденным и гудок издает сигнал до тех пор, пока оператор не «заквитирует» его, нажав кнопку *9*. После кратковременного нажатия кнопки *9* исчезает давление на одном из входов элемента *И 7* и результат конъюнкции станет равным нулю; память вернется в исходное состояние, а акустический сигнал выключится. С учетом того, что за время этих манипуляций исчез импульсный сигнал от блока I_i, блок *II* окажется готовым к приему следующего сигнала от одного из индивидуальных блоков, к которому может поступать входной сигнал через соответствующий контакт.

Как мы уже говорили, в настоящее время разработаны и другие варианты схем с центральным съемом звукового сигнала, однако ограниченность объема книги не позволяет их рассмотреть; более подробно с такими схемами можно познакомиться из доклада автора и его коллег на IX Всесоюзном совещании по пневмогидроавтоматике.

3. *Цифровые индикаторы.* Основной областью применения цифровых индикаторов является телеизмерение. Соответственно рассмотрение вариантов их построения и схемы для управления ими будут рассмотрены в следующей главе. Здесь мы ограничимся перечисле-

нием некоторых задач, решение которых в устройствах телеуправления и телесигнализации требует использования цифровых индикаторов.

При наборе кода объекта, которому предполагается передать ту или иную команду, весьма удобно использовать хорошо видимый цифровой индикатор, повторяющий номер канала. При этом сигналы индикатору целесообразно отбирать из точек, расположенных после шифратора. Такое включение цифрового индикатора позволяет проверить как правильность манипуляций оператора по набору номера, так и работу ключей и шифратора.

Вторым случаем, в котором применение цифрового индикатора также целесообразно, является получение информации о номере объекта, с которого поступило сообщение. Подобное использование цифрового индикатора особенно удобно в тех случаях, когда устройство отображения информации не включает в себя мнемосхему, при использовании которой предполагается, что каждому объекту соответствует один или несколько двухпозиционных индикаторов, по показаниям которых можно судить о состоянии объектов.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ

11. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИЕМОВ ТЕЛЕМЕХАНИКИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ МЕТОДОМ ИНТЕНСИВНОСТИ

В начале книги уже рассматривались недостатки передачи амплитудно-модулированных сигналов по пневматическим линиям связи. Однако в некоторых случаях, например при малых расстояниях или необходимости постоянного наблюдения за состоянием линии, а также при отсутствии особо высоких требований к быстродействию передача результатов измерений методом интенсивности все же может оказаться целесообразной. С другой стороны, если количество измеряемых параметров достаточно велико, то оказывается целесообразным использование приемов телемеханики для уменьшения числа линий связи, прокладываемых между местом установки датчиков и местом наблюдения за их показаниями. Второй причиной использования методов телемеханики и близко соприкасающихся с ними приемов многоканального (централизованного) контроля является уменьшение количества (в пределе до одного) показывающих приборов. Рассмотрим некоторые варианты построения подобных систем. На рис. 41 изображена схема, обеспечивающая передачу сигналов от m датчиков к одному показывающему прибору при использовании одной линии связи, по которой передаются непрерывные сигналы; число n линий, по которым передаются дискретные сигналы для выбора номера датчика, определяется соотношением $m=2^{n-1}$.

С помощью ключей K_i осуществляется выбор одного из датчиков $Д_i$, выходной сигнал которых интересует оператора в данный момент времени. На выходе шифратора $Ш$ (еще раз напомним, что рассматриваются многопроводные способы избирания) образуется соответствующая этому номеру датчика комбинация давлений в линиях управления $ЛУ_i$. Комбинация нулей и единиц на входе дешиф-

ратора *ДШ* приводит к возбуждению одного из его выходов B_i, связанных с соответствующим клапаном $Кл_i$.

Клапан $Кл_i$, обладающий замыкающим контактом, подключает к измерительной линии *ЛИ* давление, развиваемое датчиком $Д_i$. Через время, определяемое длиной и диаметром линии, а также мощностью датчика и сопротивлением клапана, давление в показывающем приборе *П* практически станет равным давлению датчика. Помимо уже упоминавшихся ранее недостатков передачи методом интенсивности, здесь уместно упомянуть еще об одном. Суть этого

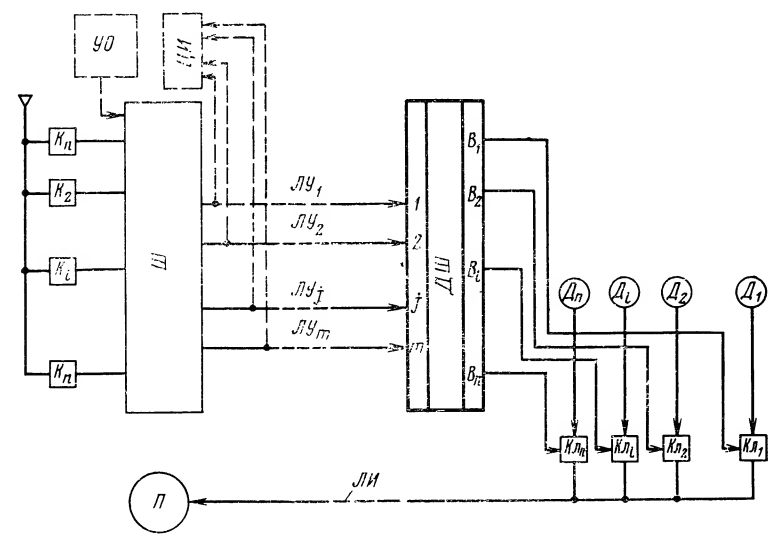


Рис. 41.

недостатка заключается в том, что по мере приближения к установившемуся значению (равному в данном случае давлению на выходе датчика) изменение давления, измеряемого прибором *П*, происходит с замедлением. Вследствие этого точность отсчета показаний в большой мере зависит от индивидуальных особенностей наблюдателя. Действительно, слишком «нетерпеливый» оператор может принять за правильные показания прибора до установления истинного значения давления, развиваемого датчиком. С другой стороны, излишне осторожный, «медлительный» оператор так долго может ожидать момента отсчета, что за это время показания датчика изменятся и в измерительной линии *ЛИ* возникнет новый переходный процесс. Кроме того, излишняя задержка в измерении одного параметра может привести к утере управления всем объектом в целом.

Известно, что принцип многопроводного выбора канала не исключает принудительного циклического (в отличие от предыдущего, в котором очередность выбора объекта может носить случайный характер и зависит только от оператора) способа переключения каналов. Такое переключение осуществляется с помощью устройства

обегания *УО*, показанного на рис. 41 пунктиром (следует отметить, что при использовании *УО* шифратор *Ш* обычно является его составной частью). Для определения номера объекта при использовании *УО* в систему включается цифровой индикатор *ЦИ*.

Использование циклического в заранее определенном порядке опроса датчиков позволяет путем некоторой модификации схемы существенно уменьшить время, затрачиваемое на установление показаний в приборе *П*. Модификация схемы заключается (рис. 42,*а*) в том, что вводится вторая линия измерения ($ЛИ_1$ и $ЛИ_2$), а схема

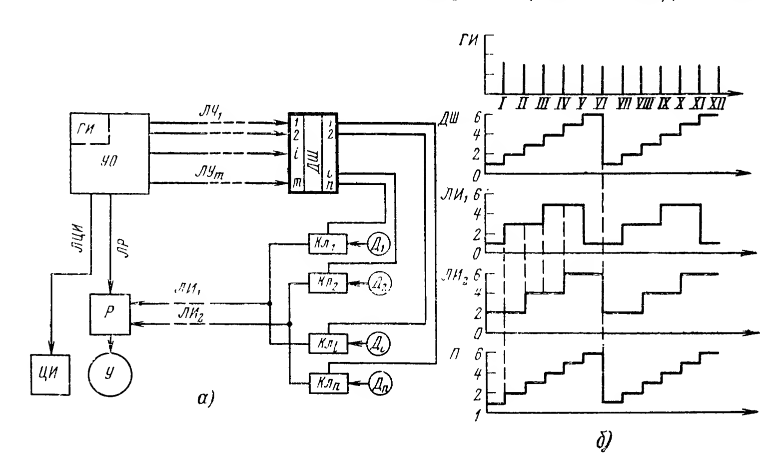


Рис. 42.

дешифратора выполняется таким образом, что, если датчик $Д_i$ подключен к линии $ЛИ_1$, то датчик $Д_{i+1}$ — к линии $ЛИ_2$. При следующем такте *УО* датчик $Д_{i+1}$ остается подключенным к линии $ЛИ_2$, а к линии $ЛИ_1$ подключается датчик $Д_{i+2}$. Кроме того, в систему вводится распределитель *Р*, подключающий прибор *П* поочередно к линиям $ЛИ_1$ и $ЛИ_2$. Распределитель *Р* получает сигналы от *УО*. Как правило, линии *ЛЦИ* и *ЛР*, связывающие цифровой индикатор *ЦИ* и распределитель с устройством обегания *УО*, представляют собой совокупность нескольких пневматических трубопроводов. Таким образом, в результате совместного действия всех дополнительных элементов (на рис. 42,*а* в основном показаны именно эти элементы) очередная линия до подключения ее к показывающему прибору оказывается заполненной воздухом под давлением, развиваемым датчиком, очередь подключения которого наступит в следующем такте.

Для большей наглядности процесса работы рассматриваемого устройства телеконтроля обратимся к диаграмме, изображенной на рис. 42,*б*. На верхней диаграмме изображены импульсы *I—XII*, вырабатываемые генератором импульсов *ГИ*, входящим в состав *УО*. Пусть число датчиков $n=6$. Соответственно дешифратор имеет шесть состояний, отмеченных на шкале *ДШ* с 1 до 6. По осям $ЛИ_1$ и $ЛИ_2$ отмечены номера подключаемых к ним датчиков. На нижней диа-

грамме показано, какой из датчиков подключен к показывающему прибору $П$ в отрезок времени, равный расстоянию между двумя импульсами.

В соответствии с диаграммой все нечетные датчики подключаются к показывающему прибору через линию $ЛИ_1$, а четные — через $ЛИ_2$. При этом каждый из датчиков оказывается подключенным к линии в течение двух тактов, а собственно измерение (включая в это понятие и переход в соответствующее положение прибора $П$) осуществляется только в одном, а именно втором, интервале между импульсами.

В результате в момент подключения показывающего прибора, поскольку его объем намного меньше объема линии, давление в последней практически не изменяется и отсчет может производиться почти сразу после подключения очередного датчика.

12. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ В ЦИФРОВОЙ ФОРМЕ

Анализ приведенных выше примеров показывает, что использование приемов телемеханики для передачи результатов измерения методом интенсивности позволяет уменьшить число линий связи, а применение специальных приемов — сократить время передачи результатов измерения. Тем не менее при применении метода интенсивности сохраняется главный недостаток — зависимость качества измерения от герметичности пневматической линии связи. Основным путем устранения данного недостатка является переход к кодированию показаний датчика и использование линий связи для передачи дискретных сигналов, обладающих только двумя уровнями.

В зависимости от характера измеряемой величины и конкретных условий эксплуатации создание датчиков с цифровым выходом может вестись по трем основным направлениям. Такими направлениями мы считаем создание датчиков с пространственным носителем кода, датчиков с дельта-модуляцией и создание промежуточных устройств, преобразующих аналоговый непрерывный выход датчика в виде давления сжатого воздуха в цифровую форму.

Цифровые датчики с пространственным носителем кода. Цифровые датчики с пространственным носителем кода, называемые также датчиками одного отсчета, по существу представляют собой преобразователи типа угол — код или, значительно реже, преобразователи положения вдоль одной из координатных осей в код, соответствующий этому положению.

Использование датчиков с пространственным носителем кода возможно в тех случаях, когда собственно измеряемая величина может быть преобразована в положение какого-либо выходного звена. Так, например, при измерении расхода для использования пространственного носителя кода необходимо перепад давления предварительно преобразовать в угол поворота выходной оси дифманометра. При измерении уровня необходимо перемещение поплавка преобразовать в перемещение ленты или оси, связанных с поплавком.

В электрических устройствах телемеханики (и даже более часто, для ввода информации в цифровые вычислительные машины) широко используются преобразователи с пространственным носителем кода [Л. 28]. Неоднородность участков носителя кода создается путем различной намагниченности, прозрачности, отражательной способности, электрической или магнитной проводимости и т. п. В за-

висимости от физической природы неоднородности носителя кода выбираются считывающие устройства, различающие участки с этой неоднородностью. Так, например, если неоднородность создана путем различной проводимости (токопроводящие участки перемежаются с изоляционными) в качестве считывающих, воспринимающих устройств могут быть использованы электрические контакты. При неоднородности, определяемой различной прозрачностью или отражательной способностью участков, в качестве считывающих устройств используются фоточувствительные приемники и т. п.

Применительно к пневматическим устройствам автоматики исходя из возможностей создания считывающих устройств наиболее удобной и распространенной формой неоднородности является геометрическая неоднородность, что в дальнейшем и будем рассматривать. Для однотипности рассуждений будем считать, что для всех рассматриваемых ниже пневматических пространственных носителей кода мы располагаем устройством, выходное звено которого поворачивается на угол, однозначно зависящий от измеряемого параметра. В качестве частного случая можно считать, что радиус вращения пространственного носителя равен бесконечности, при этом носитель кода будет совершать поступательное движение.

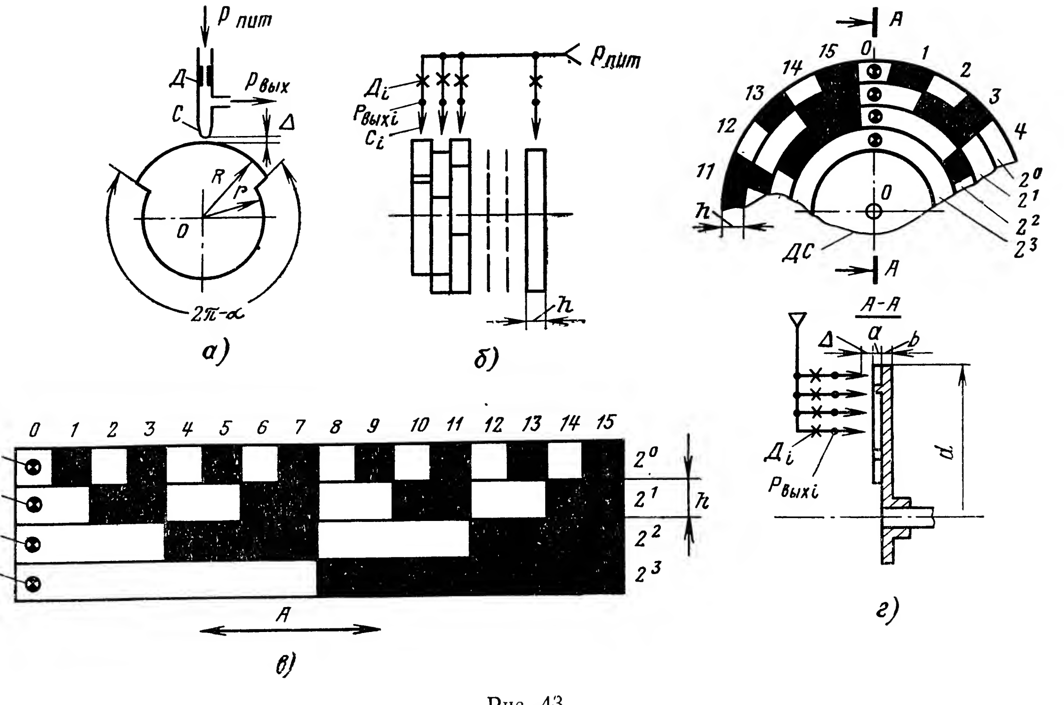
Рассмотрим некоторые способы создания неоднородностей пространственных носителей и подходящие для них считывающие устройства.

Одним из простейших вариантов пространственных носителей кода является барабан, разделенный вдоль оси своего вращения на ряд дисков, число которых соответствует количеству разрядов кода. Каждый диск (сечение одного из них изображено на рис. 43,*а*) имеет форму со ступенчато изменяющимися радиусами R и r. Для контроля положения диска используется считывающее устройство типа «сопло — заслонка».

При вращении диска (вместе с выходной осью измерительного прибора — датчика контролируемой величины) вокруг оси O под торец сопла C попадают участки с различными радиусами, вследствие чего расстояние от сопла до кромки диска изменяется в пределах от Δ до $\Delta+(R-r)$. Между соплом и точкой отбора выходного давления $p_{вых}$ включен дроссель $Д$, через который подается давление питания $p_{пит}$. Рассматриваемое устройство является известным компонентом пневматических устройств, обычно называемым парой «сопло — заслонка», при этом роль последней выполняет боковая поверхность поворачивающегося диска. При достаточно малом зазоре Δ в изображенном на рисунке положении давление $p_{вых}$ близко к давлению $p_{пит}$; этой величине присвоим символ 1. В тот момент, когда против среза сопла устанавливается часть диска с радиусом r, давление $p_{вых}$ становится близким к нулю, символом этого давления будем считать 0.

Таким образом, в пределах угла α на выходе считывающего устройства имеется 1, а в остальной части $(2\pi-\alpha)$ — давление 0 (при некоторых соотношениях размеров символу 0 может соответствовать давление, даже меньшее, чем атмосферное, т. е. сопло может обладать эжектирующим свойством).

Выше уже упоминалось, что количество дисков соответствует числу разрядов двоичного кода, представляющего собой числовой эквивалент положения оси датчика. На рис. 43,*б* показана схема расположения набора дисков с соответствующими им считывающими устройствами C_i. Дроссели каждого из считывающих устройств и



P пит
Д
C
P вых
Δ
R
r
O
2π-α
а)
Дi
Pвыхi
Ci
Pпит
h
б)
A
0
1
2
3
4
11
12
13
14
15
2⁰
2¹
2²
2³
O
ДС
h
A-A
Δ
a
b
d
Дi
Pвыхi
г)
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
Ci
C1
C2
C3
A
в)

Рис. 43.

точки отбора выходного давления соответственно обозначены $Д_i$ и $p_{выхi}$. Профиль каждого диска (чередование радиусов R и r и углы α секторов с соответствующими радиусами) определяется по общеизвестным законам образования кодовых масок, по мере уменьшения номера разряда чередование секторов становится все чаще, а протяженность каждого участка увеличивается (при арифметическом коде) вдвое при переходе от разряда i к разряду $i+1$. Развертка маски для четырехразрядного кода приведена на рис. 43,*в*; при этом имеется в виду, что затемненные места имеют радиус R, а светлые r. Направление движения относительно сопл показано стрелкой A. Расположение сопл C_i относительно пространственного носителя кода в его исходном положении (цифровой эквивалент этого положения— нуль) показано кружочками с перекрестиями. Толщина h каждого диска зависит от конструктивного выполнения сопл. При расположении сопл вдоль одной линии (линия считывания), как это изображено на рис. 43,*г*, толщина h диска должна быть больше, чем диаметр сопла, настолько, чтобы исключить влияние струи, вытекающей из каждого сопла на соседнюю с ней. Применительно к рассмотренному рис. 43 необходимо сделать некоторые замечания. Во-первых, понятие «диск» является в достаточной мере условным, так как конструкция носителя может быть выполнена цельной, в виде барабана, при этом «диск» означает дорожку, на которой размещен рельеф, соответствующий одному разряду и перемещающийся при вращении под одним считывающим устройством. Во-вторых, в связи с тем, что под соплом может оказаться (в каком-то положении выходной оси) линия перехода от радиуса R к радиусу r, выходной сигнал может получить промежуточное значение, лежащее между 0 и 1. В зависимости от случайных причин промежуточное значение $p_{вых}$ может трактоваться и как 1 и как 0. При использовании арифметических кодов подобного рода неоднозначность может привести к большой ошибке в определении положения носителя кода. Для устранения опасности возникновения этой погрешности в пневматических пространственных носителях могут использоваться известные для электрических кодирующих устройств циклические коды, например код Грэя. Известны и другие методы устранения ошибок, но все они имеют аналогию в электрических устройствах и достаточно полно описаны, например, в [Л. 8].

Нельзя не отметить два главных недостатка использования пространственных носителей кода со считывающими устройствами в виде компонента сопло — заслонка. Основной недостаток заключается в том, что для получения достаточно большого сигнала на выходе, соответствующего единице ($p_{вых}/p_{пит}>0,6$), расстояние Δ должно составлять сотые доли миллиметра. Выдерживание такого малого зазора для всех разрядов, если есть биения выходной оси, представляет большие технические трудности. Второй недостаток относится главным образом к тем случаям, когда носитель кода закреплен на оси прибора, развивающего сравнительно малую мощность, и заключается в существенном увеличении момента инерции всей подвижной (вращающейся) части прибора. Естественным следствием увеличения момента инерции является ухудшение динамических свойств измерительной системы. Однако даже в тех случаях, когда динамические свойства не являются определяющими (например, при контроле медленно изменяющихся процессов), увеличение веса подвижной системы может отрицательно сказаться на метрологии маломощного измерительного механизма за счет увеличения сил тре-

ния. Следует также добавить, что помимо веса на пространственный носитель кода действуют силы воздушных струй, вытекающих из сопл; эти силы вызывают реакцию в опорах выходного звена и также увеличивают силы трения.

Уменьшение момента инерции и массы пространственного носителя может быть частично достигнуто исполнением носителя в виде диска, рельеф кода на котором располагается вдоль радиальных колец, как это показано на рис. 43,*г*. На рис. 43,*г* схематически изображена часть четырехразрядного пространственного носителя

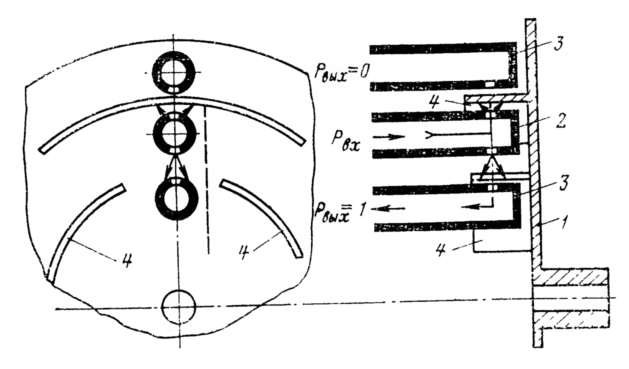


Рис. 44.

в виде диска *ДС*. Расстояние Δ между срезом сопла и выступающей частью диска остается таким же, как и в устройстве на рис. 43,*а*. Собственно рельеф создается за счет различной толщины диска; зачерненные места соответствуют толщине $a+b$; светлые места — толщине b. Необходимость высокой точности размеров элементов рельефа требует увеличения диаметра d диска. С другой стороны, увеличение d затрудняет сохранение стабильного значения Δ (так как помимо тщательной обработки поверхности требует соблюдения точной перпендикулярности оси вращения диска его плоскости) и приводит к возрастанию момента инерции. Кроме того, хотя силы вытекающих из сопл воздушных струй действуют параллельно оси вращения диска, они вызывают момент, стремящийся изогнуть диск и ось, на которой последний закреплен.

Из сказанного следует, что переход от установки считывающих сопл, расположенных перпендикулярно оси вращения (рельеф образуется на боковой поверхности цилиндра), к установке сопл параллельно оси вращения (рельеф образуется на плоскости диска) является недостаточно радикальным решением. Выбор варианта зависит от конкретных условий. Главным из них является требуемая разрядность кода. При небольшом числе разрядов предпочтительным является вариант с диском.

Другим вариантом построения считывающих устройств является использование компонента типа питающее сопло — приемная трубка, при этом неоднородность пространственного носителя создается за счет различной проводимости участков, являющихся заслонками между питающими соплами и приемными трубками. Схема одного из вариантов пространственных носителей кода со считывающими

устройствами проточного типа изображена на рис. 44. В рассматриваемом считывающем устройстве используется динамический напор струи воздуха. В качестве носителя кода применен диск *1* с рельефом, образованным гребнями *4* в каждом разряде. Гребни разделены промежутками. Соотношение длин дуг, занимаемых гребнями и промежутками между ними, для каждого разряда выбирается так же, как, например, соотношение длины дуг радиусов R и r в носителе кода по рис. 43,*а*. Считывающее устройство для двух разрядов состоит из питающего сопла *2* и двух приемных трубок *3*. Сообщение между питающим соплом и приемными трубками осуществляется через боковые отверстия. В зависимости от положения носителя гребень или промежуток между гребнями может оказаться между питающим соплом и приемной трубкой. При нахождении в соответствующем разряде гребня между питающим соплом и приемной трубкой давление в последней будет равно нулю; наоборот, если вместо гребня попадет промежуток между гребнями, давление в приемной трубке резко возрастет. Так, при диаметрах питающего сопла 1,3 *мм*, приемной трубки 1,5 *мм* и расстоянии между ними 2 *мм* давление выхода (например, $p_{\text{вых2}}$) окажется близким к 0,8 $p_{\text{пит}}$, символом которого принимается 1. Основным достоинством носителя, неоднородность рельефа которого создается с помощью гребней, а считывающее устройство выполнено в виде компонента питающее сопло — приемная трубка, является менее жесткие требования к допускам на изготовление носителя и перпендикулярности диска *1* к оси вращения.

Действительно, при расстоянии между питающим соплом и приемной трубкой в 2 *мм* и толщине (в радиальном направлении) гребня около 1 *мм* остается зазор с каждой стороны гребня в 0,5 *мм*. Биение в этих пределах почти не сказывается на точности преобразования и совершенно не влияет на величину $p_{\text{вых}}$.

Уменьшение требований к точности изготовления позволяет выполнять конструкцию более тонкой и, естественно, с малым моментом инерции. С другой стороны, преобразователь, показанный на рис. 44, невыгодно отличается от предыдущих заметным увеличением расхода воздуха, так как на пути его истечения отсутствует дроссель. Использование низкого уровня давления $p_{\text{пит}}$ (порядка 200 *мм вод. ст.*) существенно сокращает расход воздуха (имеется в виду массовый расход), но требует применения усилителей для сопряжения с последующими за преобразователем релейно-мембранными элементами.

Вариант безрасходного преобразователя угол — код с пространственным носителем предполагает использование ощупывающих считывающих устройств (следует иметь в виду, что понятие «безрасходный» носит условный характер — в переходном режиме, длящемся до заполнения емкостей линий и последующих элементов, конечно, имеет место расход воздуха).

Преобразователь с ощупывающими считывающими устройствами схематично изображен на рис. 45. Вдоль образующей носителя кода *1* (неравномерности рельефа, образующие код, подобны устройству на рис. 43,*б*), на котором нанесены кодовые дорожки, расположены считывающие устройства, скомпонованные в один общий блок. Внутри каналов *3* этого блока размещены поршни *4* со щупами *5*. С помощью цилиндрических пружин *6* поршни удерживаются в исходном (по рисунку — в верхнем) положении. В этом положении цилиндры находятся выше отверстий *9*, через которые происходит

отвод воздуха $p_{\text{вых}}$, отождествляемого с сигналом в каждом разряде. Подвод давления питания $p_{\text{пит}}$ осуществляется через канал *7* и отверстия *8*. При подаче давления $p_{\text{пит}}$ поршни *4* стремятся опуститься вниз. Те поршни, щупы *5* которых при своем движении встречают выступы *2* носителя *1* кода, перемещаются на сравнительно малую величину; соответствующие этим поршням (разряду) отверстия *9* остаются сообщенными с атмосферой через отверстия *10*.

Поршни, щупы которых не встречают выступа и перемещаются на большую величину, сообщают канал *7* питания с отверстиями *9*.

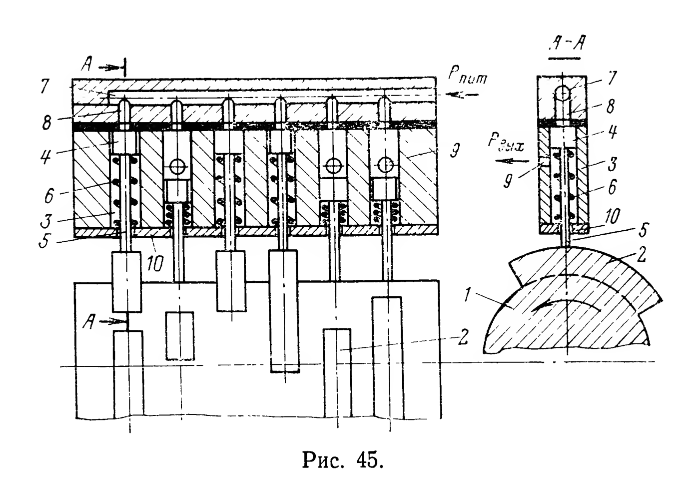


Рис. 45.

Таким образом сигнал *1*, которому соответствует появление давления $p_{\text{вых}}$ в отверстии *9*, образуется в том разряде, в котором во время движения поршней щуп не встречает на своем пути выступа. Соответственно сигнал 0 образуется при упоре щупа в выступ носителя кода.

В связи с тем, что щупы считывающих устройств вступают в кинематический контакт с рельефом носителя кода, возникает необходимость в периодизации получения кода, соответствующего положению вала носителя, т. е. при использовании считывающих устройств с ощупыванием возникает необходимость квантования непрерывного сигнала не только по уровню (что вообще свойственно всем преобразователям угол — код), но и по времени. При этом время замыкания, т. е. наличие кинематического контакта, должно быть настолько малым, чтобы носитель кода за это время не успел сместиться на сколько-нибудь заметный угол; в противном случае может возникнуть опасность поломки считывающего устройства. Для увеличения времени замыкания и исключения опасности поломки принимают специальные меры. Одной из таких мер является введение гибкой муфты между валом (осью), угол положения которого контролируется, и собственно преобразователем угол — код. Угол закручивания муфты выбирается таким образом, чтобы за время контакта считывающих устройств с носителем кода вал датчика успел повернуться на угол, меньший, чем угол запаса муфты.

При высоких требованиях к точности и разрешающей способности преобразователя угла в код возникает необходимость в использовании многоразрядных кодов. В еще большей степени это необходимо при контроле угла поворота многооборотных валов, например валов уровнемеров, выполненных в виде поплавка, гибкая связь которого наматывается на барабан. В обоих этих и некоторых других случаях возникает целесообразность двоично-десятичного кодирования, при котором каждый десятичный разряд представляется четырьмя (например, 1, 2, 4 и 8) двоичными разрядами.

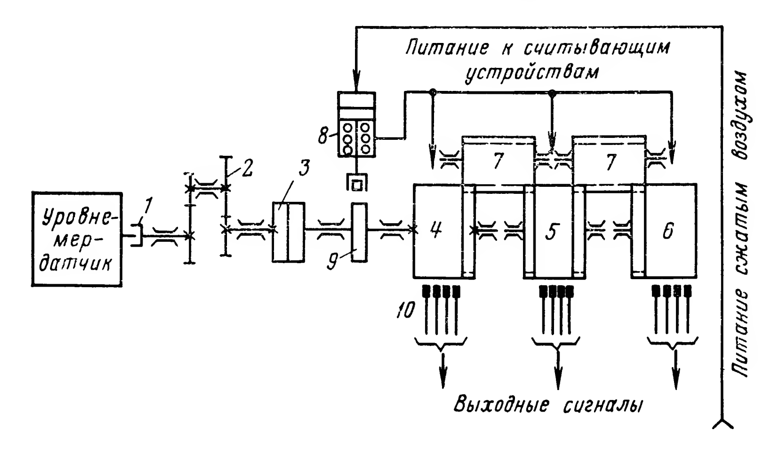


Рис. 46.

В качестве примера рассмотрим схему устройств для образования двоично-десятичного кода положения вала барабана поплавкового уровнемера, представленную на рис. 46. Вращение вала *1* барабана уровнемера через редуктор *2* и упругую муфту *3* передается носителю кода низшего десятичного (единиц) разряда — барабану *4*. Носители кодов старших десятичных разрядов (десятков и сотен) — барабаны *5* и *6* связаны с носителем кода *4* и между собой через счетные колеса *7*, имеющие передаточные отношения 1 : 10 каждый. Редукторы, образованные барабанами *4*, *5* и *6* и счетными колесами *7*, отличаются прерывностью действия, заключающейся в том, что при одном полном повороте барабана младшего разряда связанный с ним барабан старшего разряда поворачивается на $^1/_{10}$ своего полного оборота. Подобные системы счетных колес широко распространены, например, в арифмометрах, таксометрах, механических счетчиках импульсов и т. п., т. е. не являются специфическими изделиями узкого назначения.

Непрерывный характер вращения вала *1*, даже несмотря на использование редуктора *2* (также непрерывного действия), может привести к тому, что в момент подачи импульса на считывание один из кодирующих барабанов может оказаться в промежуточном положении. Хотя выше указывалось, что использование циклических кодов уменьшает ошибку считывания до единицы младшего двоичного разряда, в данном случае такой прием не может быть исполь-

зован, так как двоичная единица в старшем десятичном разряде даст общую погрешность в ±10%.

Поэтому в рассматриваемое устройство для исключения неоднозначности считывания введен специальный узел, состоящий из десятизубной звездочки *9* и цилиндра *8*. Внутри последнего расположен поршень, шток которого несет на своем свободном конце ролик-стопор, доворачивающий при своем движении звездочку *9* до ее ближайшего фиксированного положения. Кроме того, питание к считывающим устройствам *10* поступает только в конце хода поршня через боковые отверстия в цилиндре.

Таким образом, поршни считывающих устройств перемещаются только после того, как носители кодов во всех трех разрядах зафиксированы и не могут поворачиваться во время считывания. Назначение упругой муфты *3* состоит в том, что она создает возможность некоторого перемещения ее входного вала относительно выходного; при снятии команды на считывание пружины муфты вновь приведут к синфазности положений входного вала муфты *3* с носителями кодов.

Некоторое усложнение устройства повышает надежность его работы, сокращает количество расходуемого воздуха и уменьшает ошибку преобразования угол — код. Так, например, в макете устройства, предназначенного для измерения уровня, меняющегося на 9990 *мм*, погрешность преобразования в код не превышает ±10 *мм*, что составляет ±0,1% диапазона измерения.

Интересно отметить, что введение квантования по времени, адекватного контролю по вызову, позволяет существенно снизить средний за период измерения расход воздуха при использовании других типов считывающих устройств. Это особенно важно для считывающих устройств типа питающее сопло — приемная трубка. Кстати говоря, при отсутствии квантования по времени расход через питающие сопла может оказаться столь большим, что потребуется увеличение проходного сечения магистрали питающего воздуха. В то же время квантование по времени с малым отношением времени опроса к его периоду позволит в некоторых случаях обойтись установкой сравнительно небольших емкостей — ресиверов, обеспечивающих питание сопл во время опроса. Использование контроля по вызову со считывающими устройствами «сопло — питающая трубка» может оказаться особенно перспективным в том случае, когда подлежащий преобразованию в цифровую форму параметр изменяется достаточно медленно.

Исключение неоднозначности считывания в этом случае может быть достигнуто, например, путем введения дополнительных просечек меньшего диаметра, являющихся синхронизирующими. Вариант устройства подобного рода изображен на рис. 47.

Пусть носитель кода *НК* представляет собой ленту с рельефом в виде горизонтальных дорожек, в каждую из которых входят просечки разрядов от 2^0 до 2^n, соответствующие на выходе сигналу $p_{\text{вых}\,i}=1$. Если в соответствующем разряде между рабочим подающим соплом $C_{\text{р}i}$ и приемной рабочей трубкой $T_{\text{р}i}$ проходит сплошное тело носителя кода, то в соответствующем разряде (2^i) сигнал $p_{\text{вых}\,i}=0$.

Помимо комбинаций рабочих просечек. в каждой дорожке имеется синхронизирующая просечка *СП*, в определенных положениях носителя (при нахождении осей рабочих просечек на линии считывания) проходящая между синхронизирующим питающим соплом

$\tilde{C}_с$ и трубкой $\tilde{T}_с$. Питание воздухом всех рабочих сопл осуществляется через клапан K, перед которым установлен ресивер V. Поскольку диаметр синхронизирующих просечек $СП$ значительно меньше диаметров рабочих просечек, можно гарантировать, что при синхронизирующем давлении $p_с = 1$, достаточном для срабатывания клапана K, оси рабочих просечек (дорожки) находятся на линии считывания, что обеспечивает однозначность величин $p_{вых\,i}$ ($p_{вых\,i} = 1$ или $p_{вых\,i} = 0$). Для исключения приема ложных комбинаций

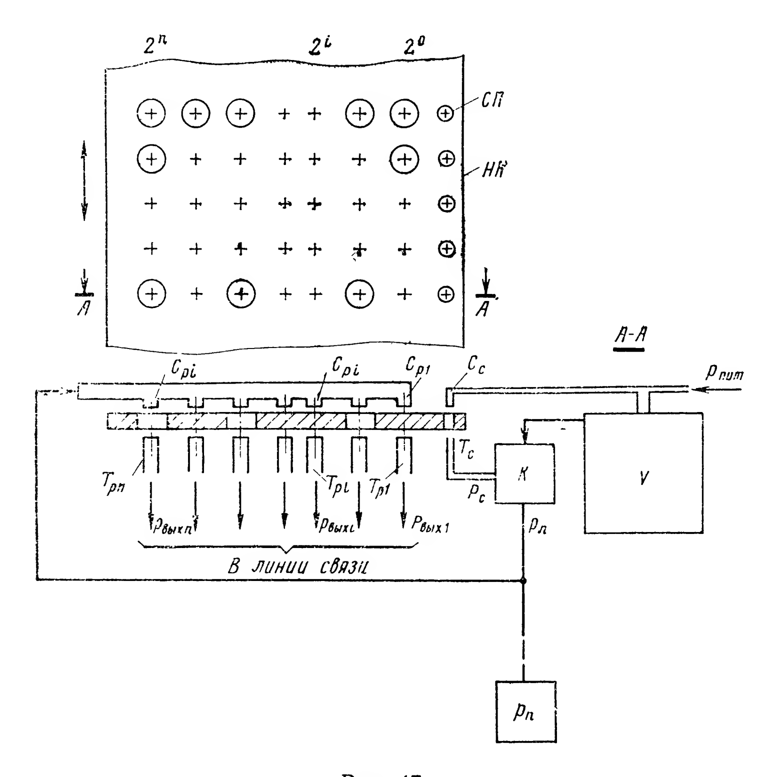
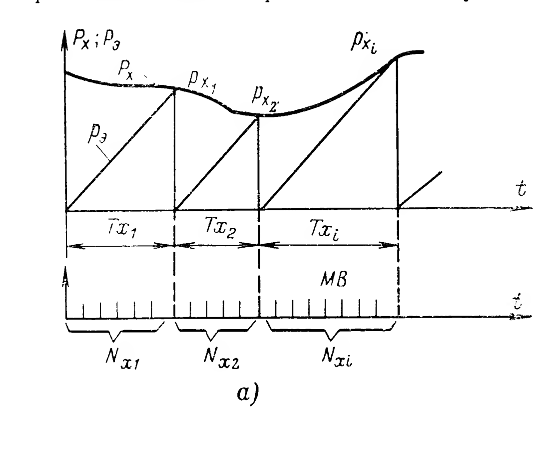


Рис. 47.

кода на приемной стороне применяется устройство индикации с памятью. Стирание памяти и введение в нее нового значения числа осуществляется при поступлении на приемную сторону новой кодовой комбинации. Для повышения надежности изменения состояния элементов памяти в их состав входят реле-формирователи импульсов давлений, близких к прямоугольным, форма которых восстанавливается из экспонент, по которым происходит изменение давлений в линиях на приемной стороне. В некоторых случаях схемное решение элементов памяти (в частности, для стирания ранее записанного числа) получается более простым, если использовать для управления памятью $p_п$ давление непосредственно после клапана K. При этом

следует иметь в виду, что так как клапан K обладает меньшим внутренним сопротивлением, то нарастание давления $p_п$ на приемной стороне будет идти более быстро, чем нарастание давлений на приемной стороне от считывающих устройств.

Все рассмотренные выше приемы преобразования непрерывной величины в цифровую форму основывались на использовании пространственных носителей кода с параллельной передачей всех его элементов. При таком подходе к решению задачи существенный не-



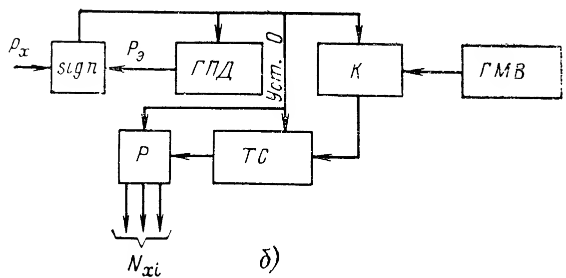


Рис. 48.

гативный вклад в общую погрешность измерений вносит преобразователь измеряемой величины в угол поворота. В связи с тем, что во многих пневматических датчиках выходной величиной является давление, преобразование его в угол поворота выходного звена с достаточной точностью и с хорошими динамическими показателями переходного процесса преобразования иногда оказывается трудно реализуемым. В качестве одного из путей отказа от преобразования давления в перемещение можно предложить использование непосредственного преобразования давления в числовой эквивалент. Один из вариантов преобразования давления в числовой эквивалент основан на использовании развертывающего преобразования [Л. 23].

Процесс развертывающего преобразования проследим по графику, изображенному на рис. 48,*а*. Пусть подлежащее преобразованию давление p_x изменяется по изображенному на графике закону. Для сравнения с p_x вырабатывается давление $p_э$, изменяющееся по пилообразному закону. Если рост давления $p_э$ прекращать и возвращать его к нулю в моменты $p_{xi}=p_{эi}$ (на графике точки p_{x1}; p_{x2}; p_{xi}), то время T_{xi} окажется однозначно определяемым давлением p_{xi} в каждой точке сравнения

$$T_{xi}=\frac{p_{xi}}{k},$$

где k — крутизна наклона пилы (скорость роста давления $p_э$), *кгс/(см² · сек)*.

Для преобразования длительности интервала T_{xi} в числовой эквивалент он заполняется метками времени *МВ*, следующими с постоянной частотой. Количество меток N_{xi}, находящихся в интервале T_{xi}, является числовым эквивалентом давления p_{xi}. Функциональная схема устройства, реализующего преобразование давления в числовой эквивалент, изображена на рис. 48,*б*. Преобразуемое давление p_x поступает к элементу сравнения (sign), на второй вход которого подается давление $p_э$ от генератора пилообразного давления ГПД. При достижении $p_э$ текущего значения p_x (точки p_{xi} на графике) элемент сравнения меняет состояние своего выхода с 0 на 1:

при
$$\begin{array}{l|l} p_x > p_э & p_{\text{sign}} = 0 \\ p_x \leqslant p_э & p_{\text{sign}} = 1. \end{array}$$

Давление, развиваемое элементом сравнения, поступает на *ГПД* и фиксирует пилу на 0, одновременно это давление закрывает ключ *К*, чем прекращает поступление импульсов — меток времени от генератора меток *ГМВ*. По этому же сигналу происходит перезапись состояния счетчика *ТС* в регистр *Р* и затем (через время задержки τ) сброс на нули всех триггеров, составляющих счетчик. Таким образом, состояние регистра однозначно определяет величину давления p_{xi}, которая была в предыдущем цикле преобразования. При очередном сравнении $p_{x(i+1)}$ с $p_э$ состояние регистра изменится.

Отдельные узлы, составляющие устройство по рис. 48, с достаточной полнотой описаны в [Л. 5].

13. ИНДИКАТОРЫ УСТРОЙСТВ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ

Как было показано выше, возможно использование датчиков двух принципиально отличных типов: датчики, на выходе которых образуется непрерывный аналоговый сигнал в виде давления сжатого воздуха и сигнал в цифровой форме; элементы кода цифрового сигнала передаются в этом случае параллельно, т. е. каждый элемент по самостоятельной линии связи.

Соответственно с видом передаваемых сигналов делятся и индикаторные устройства. Вид входного сигнала может служить первым признаком классификации. Другим признаком классификации является способ представления информации оператору (регистрирующие приборы как неспецифичные для устройств телемеханики мы рассматривать не будем) — визуальная информация может быть представ-

лена также в аналоговой или в цифровой форме. Соответственно общее число вариантов построения индикаторов составляет четыре:

аналоговый вход — аналоговый выход,
аналоговый вход — цифровой выход,
цифровой вход — цифровой выход,
цифровой вход — аналоговый выход.

Дальнейшее изложение приемов построения индикаторов будем осуществлять применительно к рассмотренной выше классификации. Подробность рассмотрения каждого из видов индикаторов будем определять, исходя из степени его распространения в устройствах телемеханики, специфичности для этого класса устройств и достигнутого уровня проработки, а также сообразуясь с широтой существующих публикаций.

а) *Индикаторы с аналоговыми входными и выходными сигналами*

Группа индикаторов с аналоговыми непрерывными входными и выходными сигналами по выполняемым функциям и принципам действия полностью тождественна измерительным манометрам. При выборе той или иной конструктивной разновидности манометра следует только иметь в виду необходимость согласования формы и цвета шкалы и стрелки с общей компоновкой пульта или щита телеизмерений на основе общих соображений эргономики. Отсутствие существенных отличий этой группы индикаторов от общеизвестных манометров исключает необходимость ее детального рассмотрения.

б) *Индикаторы с аналоговым входным сигналом и цифровым выходным сигналом*

Индикаторы, входящие в описываемую группу, можно рассматривать как комплексные устройства, состоящие из промежуточного преобразователя аналогового сигнала в цифровой и собственно цифрового индикатора. В связи с тем, что собственно цифровые индикаторы будут рассматриваться несколько позже, здесь мы остановимся только на описании промежуточного преобразования аналогового входного сигнала в виде давления в его числовой эквивалент. Рассмотрим три основных варианта решения задачи такого преобразования. Первый и второй варианты предусматривают использование уже известных читателю устройств — манометра с цифровым выходом или манометра с подвижным выходным звеном, которое могло бы перемещать пространственный носитель кода. Третий вариант построения преобразователя заключается в использовании дельта-модуляции. Возможность этого пути преобразования в индикаторах объясняется отсутствием длинной линии связи между отдельными частями индикатора.

Для пояснения использования дельта-модуляции обратимся к схеме, изображенной на рис. 49. Аналоговый входной сигнал $p_{вх}$ поступает к манометру *М*, на выходной оси *О* которого закреплен диск *Д*, имеющий по периферии просечки *П* (часть диска более крупно изображена в левом нижнем углу рисунка). Считывающее устройство в виде компонента «сопло — приемная трубка» (соответственно обозначенных *С* и *Т*) установлено таким образом, что просечки при изменении $p_{вх}$ пересекают ось компонента. В результате пересечения струи на выходе приемной трубки образуются импульсы давления $p_{вых}$, частота которых соответствует темпу изменения давления $p_{вх}$. Шаг просечек выбирается равным заданной погрешности.

Импульсы давления поступают в реверсивный счетчик *PC*. Характер действий счетчика (сложение — вычитание) определяется сигналом p_{sign}, поступающим от узла определения направления изменения $p_{вх}$, обозначенного на схеме знаком sign. При неизменном значении входного сигнала $p_{вх}$ счетчик не изменяет своего состояния. В том случае, если давление $p_{вх}$ будет изменяться (например, $p_{вх}$ увеличивается), при каждом приросте его на величину Δ (шаг просечек) в счетчик добавится единица. Если в исходном состоянии ($p_{вх}=0$) счетчик также привести в нулевое состояние, то число, зарегистри-

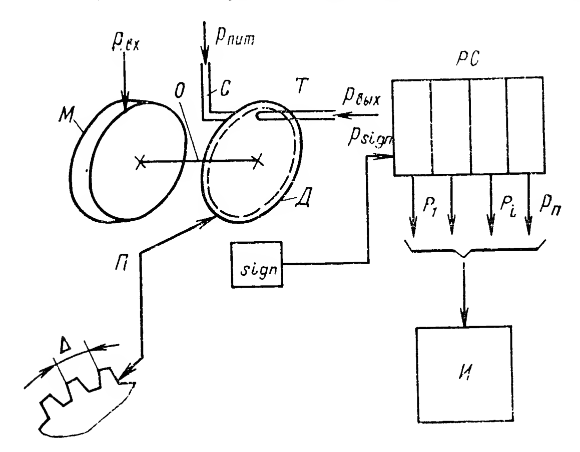


Рис. 49.

рованное в нем в каждый момент времени ($t>0$), является числовым эквивалентом $p_{вх}$. Комбинация давлений p_i, определяемых состоянием образующих счетчик триггеров, поступает к собственно индикатору *И* и отражается в нем.

Определение направления перемещения может осуществляться несколькими способами. Часть способов заключается в нанесении на диск дополнительных дорожек с неоднородной проводимостью. Порядок изменения сигналов от считывающих эту неоднородность компонентов подвергается логическому анализу, на основе которого делается вывод о направлении движения.

Другим приемом определения направления изменения может служить его дифференцирование. Знак производной определяет направление изменения $p_{вх}$ и управляет работой счетчика. По сравнению с устройствами преобразования, использующими пространственные носители кода, рассматриваемый преобразователь отличается простотой модулирующего диска, обеспечивающей легкость его изготовления и меньшую массу. В то же время упрощение модулирующего диска сопровождается усложнением других элементов схемы.

в) *Индикаторы с цифровым входом и выходом*

Группа цифровых индикаторов, на вход которых подаются цифровые сигналы в виде комбинаций уровней (0 и 1) давлений в подводящих линиях, является самой распространенной в пневматиче-

ских устройствах телемеханики. Соответственно велико и разнообразие конструкций. Все известные конструкции можно разделить на три вида.

К первому виду мы отнесем такие конструкции, которые предусматривают наличие самостоятельных подвижных носителей для образа каждой цифры-символа.

Второй вид индикаторов отличается наличием общего подвижного носителя, на котором для каждой цифры выделено самостоятельное место.

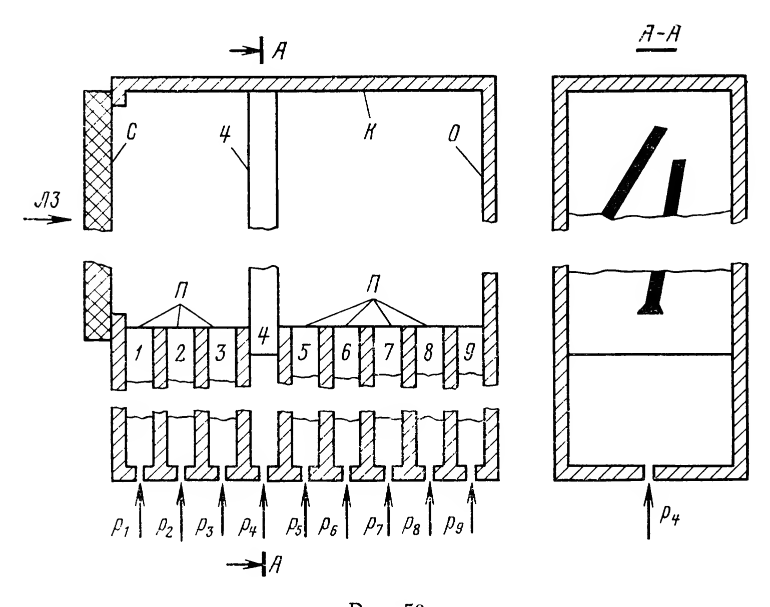


Рис. 50.

Наконец, к третьему виду отнесем цифросинтезирующие индикаторы, образ цифры в которых создается комбинацией отдельных элементов, в равной степени являющихся составной частью различных образов.

В качестве примера устройств первой группы на рис. 50 изображена схема пакетного индикатора. Внутри общего корпуса *К* установлены девять (по числу индицируемых цифр) пластин *П*. Каждая пластина находится в кармане, представляющем собой полость прямоугольного сечения. При подаче давления (p_1—p_9) к одному из карманов находящаяся в нем пластина (поршень) силой, создаваемой давлением, выдвигается вверх и через стекло *С* становится видима нанесенная на этой пластине цифра.

На рис. 50 индикатор изображен в состоянии, при котором подано давление p_4; соответственно через стекло по направлению линии зрения *ЛЗ* видна цифра 4. Если все давления p_1—p_9 равны нулю, то через стекло видна цифра 0, нанесенная на задней стенке корпуса. Известны и другие конструктивные решения, направленные

главным образом на уменьшение площади по фасаду (перпендикулярной *ЛЗ*) и сокращение расстояний между плоскостями, на которых появляются цифры. Последнее обстоятельство особенно важно, так как основным дефектом рассматриваемого вида индикаторов является различная глубина плоскостей относительно стекла, что резко сокращает не только освещенность последних цифр, но и уменьшает углы отклонения *ЛЗ*, при которых еще доступно пользование индикатором. В качестве таких конструктивных приемов изве-

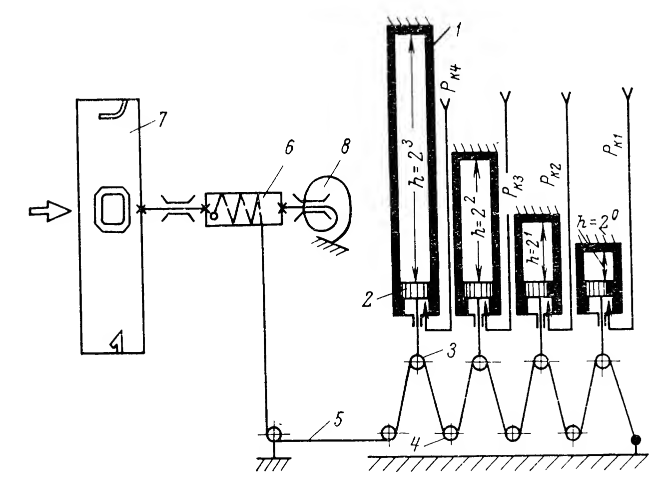


Рис. 51.

стно использование приводов, выполненных отдельно от пластин, что позволяет существенно уменьшить их толщину и расстояние между ними. Как видно из рассмотрения принципа действия индикатора, для управления его работой требуется код в десятичной системе счисления.

Примером индикатора второго вида (с перемещающимся носителем символов) может служить устройство [Л. 27], изображенное на рис. 51. Ввод сигналов в индикаторах осуществляется в виде арифметического двоичного кода, значениям 0 и 1 элементов кода в каждом разряде соответствуют отсутствие и наличие давлений. Каждому двоичному разряду соответствует цилиндр *1*; длина каждого цилиндра (ход поршня *2*) пропорциональна степени числа «2» $h_1 = 2^0$, $h_2 = 2^1$,, $h_3 = 2^2$, $h_4 = 2^3$.

Суммирование перемещений поршней в зависимости от поступившего в данный момент кода осуществляется с помощью гибкой связи *5*, проходящей через ролики *3*, с осями, закрепленными на штоках поршней, и ролики *4*, оси которых связаны с корпусом индикатора.

Для преобразования перемещения поршней в угол поворота циферблата *7* один конец гибкой связи закрепляется к корпусу, а второй — к валику *6*, жестко связанному с циферблатом. Для возврата

поршней в исходное положение и постоянного натяга гибкой связи служит пружина 8.

Таким образом, каждому числу, представленному в двоичной системе счисления, соответствует определенное положение циферблата. Цифры, нанесенные на циферблат, просматриваются по указанному стрелкой направлению через застекленное окно.

Постоянное небольшое расстояние между стеклом и поверхностью циферблата обеспечивает хорошую видимость цифр даже при значительных отклонениях линии зрения от нормали к стеклу.

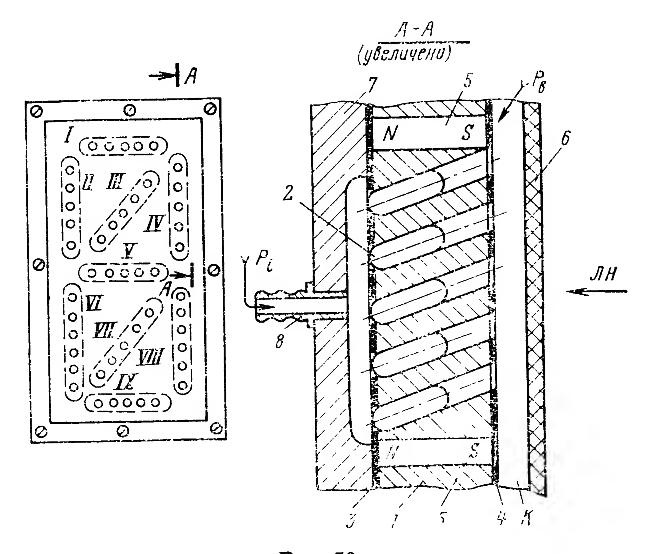


Рис. 52.

Рассматриваемый вид индикатора не свободен от недостатков, к числу которых можно отнести сравнительно большую площадь его по фронту щита или панели и некоторую сложность конструкции.

С нашей точки зрения, наиболее перспективным является третий вид индикаторов — цифросинтезирующих. Из большого числа известных устройств подобного вида мы рассмотрим в качестве примера индикатор [Л. 30], схема которого изображена на рис. 52.

В корпусе *1* индикатора выполнены наклонные каналы, внутри которых расположены легкие пустотелые поршеньки *2* из магнитомягкого материала со сферическими торцовыми частями. Поршеньки в своих крайних положениях упираются в ферромагнитные пластины *3* и *4* с отверстиями, диаметр которых несколько меньше диаметров поршеньков. Между пластинами расположены постоянные магниты *5*, удерживающие поршеньки в крайних положениях. С лицевой стороны индикатора имеется стекло *6*, образующее с поверхностью корпуса герметичную камеру *К*, сообщающуюся с атмосферой. К задней стороне корпуса плотно прилегает крышка *7* с девятью пазами, направленными к корпусу, и штуцерами *8* в каждом пазу. Через штуцера подаются управляющие сигналы p_i. Каждый паз имеет

форму и размеры, обеспечивающие объединение всех поршеньков в девять групп. Таким образом, при подаче давления p_i к одному штуцеру оно через соответствующий ему паз передается к торцам входящих в i-ю группу поршеньков. Под действием этого давления поршеньки, преодолев силу магнитного притяжения к пластине *3*, переместятся вдоль каналов и притянутся к пластине *4*.

В этом положении поршеньки легко наблюдаемы со стороны стекла индикатора. Возвращение поршеньков в исходное положение осуществляется подачей давления возврата $p_в$ в камеру *К*. Величина давления $p_в$ выбирается меньшей, чем давление p_i, благодаря чему поршеньки всех групп, к штуцерам которых не подано давление, находятся в исходном, удаленном от стекла положении.

В этом положении поршеньки не видны со стороны стекла, так как каналы, по которым они перемещаются, имеют наклон относительно линии наблюдения *ЛН*. Все девять групп, каждая из которых включает 3—5 поршеньков, образуют мозаичное поле. Подавая управляющие давления в определенных комбинациях, можно синтезировать образ, весьма близкий по начертанию к любой из десяти арабских цифр.

В табл. 3 приведены комбинации, обеспечивающие синтезирование всех цифр. Знак 1 соответствует подаче давления к штуцеру группы (группы пронумерованы римскими цифрами), знак 0 — отсутствию давления.

Таблица 3

Группа поршеньков (номера штуцеров)	Синтезируемая цифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
II	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
III	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1
IV	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1
V	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1
VI	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
VII	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
VIII	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
IX	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1

На основании табл. 3 для синтезирования образа каждой цифры может быть составлено логическое уравнение. Например, для синтезирования цифр 2 и 4 эти уравнения запишутся следующим образом:

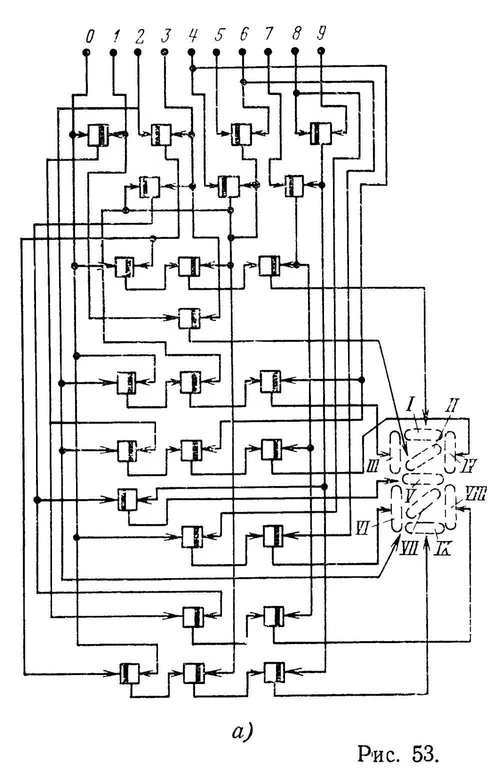
$$2 = p_{I} \cdot p_{II} \cdot p_{IV} \cdot p_{V} \cdot p_{VII} \cdot p_{IX} \cdot \bar{p}_{III} \cdot \bar{p}_{VI} \cdot \bar{p}_{VIII};$$

$$4 = p_{II} \cdot p_{IV} \cdot p_{V} \cdot p_{VIII} \cdot \bar{p}_{I} \cdot \bar{p}_{III} \cdot \bar{p}_{VI} \cdot \bar{p}_{VII} \cdot \bar{p}_{IX}.$$

В зависимости от вида кода, в котором представлены подлежащие индицированию числа, выбирается структура дешифратора, управляющего давлением p_i.

На рис. 53,*а* изображен дешифратор (вместе со схемой его подключения к группам индикатора) для преобразования десятичного

кода в образ соответствующей цифры [Л. 31]. Наличие в индикаторе постоянных магнитов позволяет осуществить запоминание цифры при прекращении питания. В некоторых случаях, например при многоканальной системе, необходимо специально вводить на время изменения кодовой комбинации отклонение питания, что объясняется постепенным характером изменения сигналов (в отличие от скачкообразного, свойственного электрическим устройствам), приводящим к возможности возникновения на индикаторе «смазанного», запрещенного образа, который нельзя идентифицировать какой-либо цифре. Кроме того, периодическая (импульсная) подача как управляющих давлений, так и давления возврата поволяет резко сократить



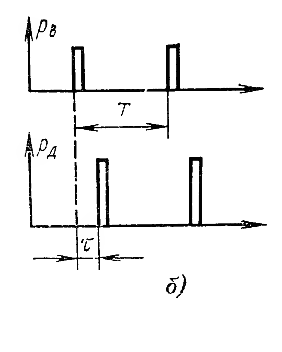


Рис. 53.

расход воздуха, потребляемого индикатором. Диаграмма подачи импульсов питания к дешифратору $p_Д$ и в камеру сброса $p_в$ изображена на рис. 53,*б*. Период *T* повторения импульсов задается отдельным генератором или определяется сигналами, формируемыми приемными элементами устройства телеизмерения. Задержка времени τ между импульсами $p_в$ и $p_Д$ должна составлять несколько десятых долей секунды.

В тех случаях, когда нет опасности возникновения ложных комбинаций или индикатор предназначается для кратковременной работы (например, для подтверждения правильности набора оператором номера канала), постоянные магниты могут быть удалены из конструкции индикатора. Давление возврата $p_в$ подается постоянно, а величина его выбирается примерно в 2—3 раза меньшей, чем давление p_i.

В других конструкциях индикаторов элементы мозаики выполнены в виде сплошных пластин; известны также индикаторы с меньшим числом элементов мозаики. Однако основные принципы построения индикаторов остаются неизменными — образ цифры синтезируется из отдельных элементов путем комбинации состояний последних.

Благодаря малым массам элементов мозаики и отсутствию сложных кинематических связей быстродействие синтезирующих индикаторов достаточно велико и достигает 10—14 изменений образов в секунду. Появление образов всех цифр в одной плоскости, близко расположенной к стеклу, позволяет производить наблюдения при достаточном отклонении от нормали к стеклу (в горизонтальной плоскости допустимое отклонение составляет 60° при расстоянии до 3 *м* от наблюдателя).

г) *Индикаторы с цифровым входом и аналоговым выходом*

Необходимость использования индикаторов этой группы возникает тогда, когда оператор должен контролировать не истинное значение параметра, а отклонение его от определенного, заданного значения. В этом случае целесообразно использовать мнемонические способности оператора. Так, например, при необходимости одновременного наблюдения за группой параметров целесообразно так выбрать масштабы и расположить начальные отметки шкал, чтобы стрелки всех индикаторов при нормальном состоянии контролируемого объекта занимали одинаковое (например, горизонтальное) положение. Кроме того, в случаях, когда на первый план выступает не точность отсчета, а его скорость (даже при одиночном индикаторе), аналоговое представление информации в виде положения стрелки или визира нам представляется предпочтительным.

Построение индикаторов с цифровыми входными сигналами и аналоговым выходом может осуществляться двумя путями. Первый путь состоит в использовании предварительного преобразования числового эквивалента в давление воздуха и затем измерении его с помощью манометра.

Второй путь состоит в непосредственном преобразовании комбинации давлений, образующей код числа, в угол поворота выходного звена индикатора, например стрелки.

В реализации первого пути известны два основных приема: суммирование давлений, изменяющихся пропорционально степеням числа 2, с помощью дросселей [Л. 22] и суммирование проводимостей дросселей, имеющих два номинальных значения сопротивления [Л. 17]. Как тот, так и другой путь дают более или менее приемлемые результаты только при преобразовании небольших чисел, ограниченных четырьмя-пятью двоичными разрядами. Преобразование больших чисел связано с возникновением недопустимо больших погрешностей, обусловленных нелинейностями дросселей при давлениях, принятых в релейной пневмоавтоматике. Кроме того, преобразование чисел в давление возможно только при кодировании чисел арифметическим двоичным кодом.

Более подробно рассмотрим индикаторы с цифровым входом и аналоговым выходом, основанные на непосредственном преобразовании числа в угол поворота выходного звена индикатора.

В качестве примера на рис. 54 изображена схема [Л. 26] устройства, в котором использовано активное ациклическое развертывание с представлением развертывающей функции в виде угла поворота

выходной оси [Л. 23]. Постоянно вращающийся пневматический двигатель *Д* через редуктор *Р* и управляющую муфту *М* связан с барабаном *Б*. На барабане закреплен пространственный носитель кода (маска) с неоднородностью участков поверхности, определяемой типом выбранных считывающих устройств *СУ*. Код маски соответствует коду, в котором представлены подлежащие индикации числа. Сигналы считывающих устройств и сигналы о преобразуемом числе, поступающие из линий связи, подвергаются поразрядному сравнению в логических элементах эквивалентности, обозначенных символом $\sim$. Выходы всех элементов эквивалентности объединены в элементе *И*, реализующем операцию логического умножения. До тех пор, пока

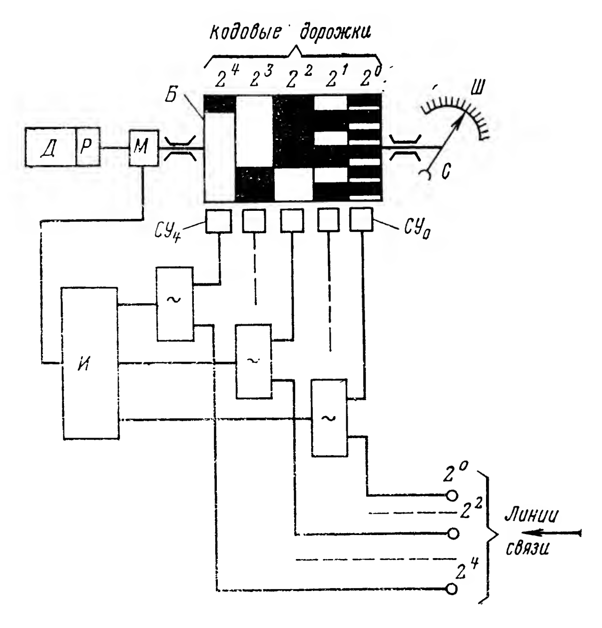


Рис. 54.

на выходе элемента *И* давление отсутствует, муфта соединяет редуктор с барабаном и последний вращается. В тот момент, когда все считывающие устройства во всех разрядах выдают сигналы, идентичные сигналам, поступающим с линии связи (т. е. числу, подлежащему преобразованию и индикации), на выходе элемента *И* возникает сигнал, расцепляющий муфту с барабаном. Кроме того, связанная с барабаном стрелка *С* займет относительно шкалы *Ш* положение, соответствующее индицируемому числу. При изменении поступающего по линии связи числа наступит неравнозначность хотя бы в одном разряде, сигнал на выходе элемента *И* исчезнет, муфта сцепит редуктор с валом и вновь начнется цикл развертывания.

С позиций динамической структуры рассматриваемое устройство можно идентифировать как цифровую следящую систему. Индика-

тор обладает достаточно высокими динамическими и метрологическими свойствами. Погрешность индикации не превышает единицы младшего разряда, а время индикации — времени полного оборота стрелки. К сожалению, как обычно, высокие качества устройства покупаются ценой сложности конструкции. При небольшом количестве разрядов числа, представленного в арифметическом двоичном коде, в качестве индикатора с цифровым входом и аналоговой формой представления может быть использовано устройство, изображенное на рис. 36.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ТЕЛЕРЕГУЛИРОВАНИЯ

Сравнительно невысокая скорость передачи сигналов по пневматическим каналам связи обусловила использование в основном только таких структур устройств телерегулирования, в которых осуществляется телемеханическое изменение заданий регуляторам. Сами регуляторы при этом устанавливаются, как правило, по месту, поблизости от датчиков и исполнительных механизмов. Исключение составляют системы телерегулирования весьма инерционных объектов, удовлетворительное качество переходных процессов в которых обеспечивается позиционными или позиционно-импульсными законами регулирования. Передача управляющих воздействий при позиционных законах регулирования равносильна передаче сигналов телесигнализации, рассмотренной нами ранее.

Таким образом, для пневматических устройств телерегулирования специфичной является задача телемеханического изменения состояний задающих устройств; контроль заданных значений и измерение текущих значений регулируемых параметров осуществляется описанными ранее способами.

Известны также примеры устройств регулирования, в которых, хотя регулятор и объект управления достаточно удалены, сигналы подвергаются только амплитудной модуляции. Приемы уплотнения каналов для передачи амплитудно-модулированных сигналов также известны читателю.

ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЗАДАЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ

Основные функции и свойства задающих устройств, управляемых методами телемеханики, кратко можно сформулировать следующим образом.

Во-первых, в связи с тем, что у большинства пневматических регуляторов введение заданного значения осуществляется путем изменения сжатия (растяжения) тарированных пружин, телемеханическое задающее устройство должно содержать подвижное выходное звено, находящееся в таком кинематическом контакте с пружиной, который позволял бы перемещать один из ее концов, изменяя тем самым сжатие или растяжение.

Во-вторых, ввиду того, что устройства телемеханики обычно предусматривают уплотнение каналов, телемеханически управляемый задатчик должен обладать памятью, т. е. сохранять свое состояние во время использования линии для организации остальных каналов, также входящих в состав устройства телемеханики. Свой-

ство памяти необходимо также для сохранения состояния задатчика на время нарушения связи с пунктом управления вследствие возможной неисправности. Кроме того, в большинстве случаев изменение задания во время работы объекта предусматривается с целью оптимизации протекающих в нем процессов и производится сравнительно редко; следовательно, нецелесообразно включать эту операцию в общий цикл устройства телемеханики (имеется в виду устройство циклического действия). Изменение заданий можно проводить спорадически при ручном вызове канала оператором. В том случае, если оптимизация проводится вычислительно-управляющей машиной, построение обегания в пределах цикла должно обладать возможностью введения приоритета.

В-третьих, спорадический характер ввода заданного значения или необходимость приоритета обусловливает требование высокой скорости передачи сигналов и изменения положения задатчика.

В-четвертых, память должна быть реализована таким способом, чтобы состояние задатчика не изменялось даже в случае прекращения подачи сжатого воздуха. Невыполнение этого требования весьма затруднит восстановление регулирования процесса после остановки, например, вследствие неисправности оборудования.

Все сказанное об управлении задающими устройствами распространяется и на органы настройки динамических и статических параметров регулятора.

На основе сопоставления приведенных выше требований и возможностей различных пневматических задающих устройств [Л. 22] можно сделать вывод, что одним из наиболее приемлемых и перспективных путей создания рассматриваемых узлов является использование механизмов с развертывающей функцией в виде угла поворота оси, подобных индикатору с цифровым входом и аналоговым представлением информации.

Наличие цифрового входа обеспечивает быструю передачу сигналов, а применение механических элементов позволяет придать дистанционному задатчику свойства памяти с неограниченным временем хранения информации.

Рассмотрим в качестве примера элемент настройки, схема которого изображена на рис. 55. Собственно задающее устройство состоит из кулачка *1*, толкатель которого, перемещаясь поступательно, изменяет силу сжатия пружины *2*. Сила сжатия пружины определяет заданное значение регулируемого параметра. Для перемещения кулачка на одном валу с ним укреплен носитель кода (например, барабан) *3* и половина муфты *4* одностороннего вращения. Вторая половина муфты жестко связана со шкивом *5*, на котором укреплен один конец обернутой вокруг него гибкой связи (например, металлической ленты). Второй конец связи прикреплен к поршню цилиндра *7*. Перемещение поршня в цилиндре происходит под действием поступающего в его верхнюю полость сжатого воздуха.

Для возврата поршня и барабана в исходное положение используется пружина *6*. Благодаря наличию муфты *4* кулачок вращается только при движении поршня вниз (по рисунку); при возвращении поршня и шкива в исходное положение кулачок остается неподвижным.

Неоднородности рельефа носителя кода изменяют состояние считывающих устройств *СУ*, сигналы из которых поступают в блок сравнения *БС*, реализующий функцию эквивалентности. Выходной

сигнал блока сравнения управляет поступлением воздуха в верхнюю полость цилиндра. Длина хода поршня цилиндра и диаметр шкива 5 выбраны таким образом, что при полном перемещении поршня шкив совершает немногим больше одного оборота. Таким образом, при полном перемещении поршня мимо считывающих устройств пройдут все комбинации кода, имеющиеся на поверхности носителя в виде неоднородностей рельефа. В одном из положений носителя кода (и связанного с ним кулачка) на выходах считывающих устройств

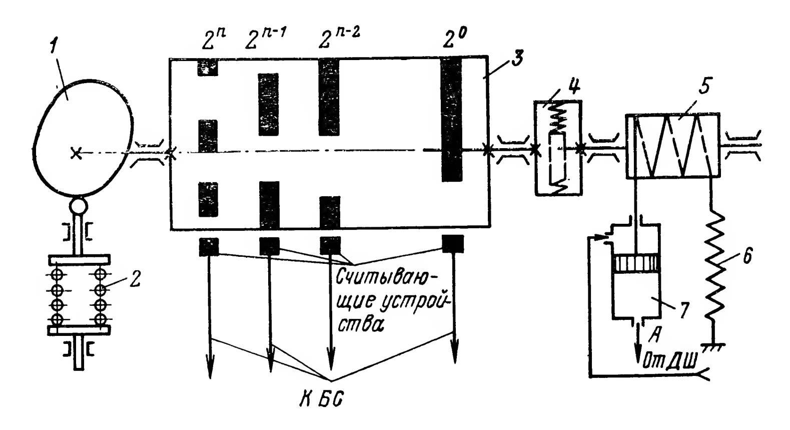


Рис. 55.

появится комбинация, являющаяся числовым эквивалентом задания, предписанного числом, переданным по каналу связи. В этот момент выходной сигнал блока сравнения прекратит доступ сжатого воздуха в цилиндр и сообщит его верхнюю полость с атмосферой. Под действием пружины 6 шкив 5 и поршень вернутся в исходное положение, а носитель и кулачок благодаря муфте 4 останутся неподвижными, т. е. сохранят предписанное командой положение — запомнят его.

Схемы управления задающими устройствами и контроля их положения синтезируются изложенными выше приемами построения систем ТУ-ТС-ТИ.

Как показано автором в [Л. 36], включение пневматических регуляторов в состав АСУТП позволяет ожидать более широкого распространения телемеханического изменения уставок, так как последние в этом случае будут изменяться по сигналам от процессора, обеспечивающего оптимизацию работы управляемого объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алекса А. К.** Некоторые схемы управления пневматическими цифросинтезирующими индикаторами.—«Приборы и системы управления», 1968, № 7.

2. **Алекса А. К.** Пневматические устройства визуальной индикации знаков.—«Приборы и системы управления», 1969, № 8.

3. **Атлас П. М.** Система пневматических приборов «Старт» завода «Тизприбор».— В кн.: Системы и устройства пневмоавтоматики. М., «Наука», 1969.

4. **Бакшт Р. И., Лемберг М. Д., Майзель Л. М.** Аппаратура пневмоавтоматики для управления объектами газовой промышленности.—В кн.: Пневмоавтоматика. М., «Наука», 1966.

5. **Берендс Т. К., Ефремова Т. К., Тагаевская А. А.** Элементы и схемы пневмоавтоматики. М., «Машиностроение», 1968.

6. **Волков В. В., Морозов Ю. А., Эйгенброт В. М.** О запаздывании в пневматических линиях.— «Реферативная информация о передовом опыте», серия VIII, вып. II, 1967.

7. **Волков В. В., Эйгенброт В. М.** О некоторых особенностях использования пластмассовых трубопроводов в качестве пневматических линий связи.—В кн.: Пневматические средства и системы управления. М., «Наука», 1970.

8. **Гитис Э. И.** Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. М., Госэнергоиздат, 1961.

9. **Залманзон Л. А.** Длинная линия пневматическая.— В кн.: Энциклопедия современной техники, т. 1. М., «Советская энциклопедия», 1962.

10. **Зеленовский Б. Л., Ларин Ю. В.** Магнитопневматический датчик.— В кн.: Пневматические средства автоматизации горных машин. Донецк, изд-во «Донбасс», 1969.

11. **Зенченко В. П.** Пневматические приемные и исполнительные устройства машин-автоматов.— В кн.: Новое в пневмогидравлической автоматике, Изд-во АН СССР, 1962.

12. **Инструкция** по проведению гидравлических и пневматических испытаний трубных проводов (МСН 160-67/ММССР СССР), ЦБТИ, ММССР, М., 1969.

13. **Ланин Н. Д., Барский Л. А.** Пневматические системы телемеханики.—В кн.: Труды Всесоюзного совещания по автоматике. М., «Наука», 1967.

14. **Ларин В. И.** Пневматический шаговый распределитель. А. С. № 179147 (СССР).— Бюлл. изоб., 1966, № 4.

15. **Левин В. И.** Пневматическое устройство контроля и управления по вызову.—В кн.: Пневмо- и гидроавтоматика. М., «Наука», 1964.

16. **Лемберг М. Д.** Релейные системы пневмоавтоматики. М., «Энергия», 1968.

17. **Лимонова М. Е.** Анализ схем построения на элементах пневматики цифроаналогового преобразователя.— В кн.: Новое в пневматике. М., «Наука», 1969.

18. **Лукьянов Н. Г., Миллер Ю. Я., Эйгенброт В. М.** Разработка и результаты испытания пневматических систем телеизмерения.— В кн.: Пневмогидроавтоматика. М., «Наука», 1962.

19. **Лукьянов Н. Г., Эйгенброт В. М.** Пневматическая телемеханика. М., Гостоптехиздат, 1965.

20. **Малов В. С.** Телемеханика. М., «Энергия», 1965.

21. **Прусенко В. С.** К вопросу определения оптимальных диаметров линий связи в пневматических САР.—«Приборы и системы управления», 1969, № 12.

22. **Розенцвит Ц. И., Эйгенброт В. М.** Задающие устройства. М., «Энергия», 1971.

23. **Темников Ф. Е.** Теория развертывающих систем. М., Госэнергоиздат, 1963.

24. **Технические** указания по проектированию и монтажу трубных проводок из пневмокабелей и пластмассовых труб в системах автоматизации (МСН 96-69/ММССР СССР), ЦБТИ, ММССР СССР. М., 1970.

25. **Фельдман В. Я., Эйгенброт В. М.** К выбору параметров пневматической линии связи на основе анализа динамических процессов.— «Машиноведение», 1969, № 2.

26. **Эйгенброт В. М., Лукьянов Н. Г., Осокин А. К.** Устройство для передачи сигналов с кодо-импульсной модуляцией. А. С. № 151229.— Бюлл. изоб., 1962, № 20.

27. **Эйгенброт В. М., Лукьянов Н. Г.** Дискретно-аналоговый преобразователь. А. С. № 154100.— Бюлл. изоб., 1963, № 8.

28. **Эйгенброт В. М.** Аналогово-дискретные и дискретно-аналоговые преобразователи с использованием энергии сжатого воздуха.— ЭИКА, вып. 7, М., «Энергия», 1967.

29. **Эйгенброт В. М., Прусенко В. С., Шипетин Л. И. и др.** Пневматическое устройство сигнализации. А. С. № 219886.—Бюлл. изоб., 1968, № 19.

30. **Эйгенброт В. М.** Пневматический индикатор. А. С. № 255803.— Бюлл. изоб., 1968, № 33.

31. **Эйгенброт В. М.** Преобразователи рода энергии сигналов в системах автоматического управления. М., «Энергия», 1970.

32. **Эйгенброт В. М.** Импульсные электрические и пневматические устройства автоматики. Учебное пособие, ч. 1 и 2. Изд. МГИ, 1970.

33. **Эйгенброт В. М.** Системы дистанционного управления с использованием струйных элементов.—«Приборы и системы управления», 1971, № 1.

34. **Эйгенброт В. М., Майзель Л. М., Тереховский В. Н., Фролов В. Ф., Челинцев С. Н.** Исследование и расчет каналов связи систем пневмоавтоматики.— Реферативный сб.: Автоматизация, телемеханизация и связь в газовой промышленности, вып 4, 1973.

35. **Эйгенброт В. М., Турицын Ю. А., Шахнович А. В.** А. С. № 393764.— Бюлл. изоб., 1973, № 33.

36. **Эйгенброт В. М.** Некоторые направления развития пневматических устройств автоматики в связи с внедрением АСУ.— «Приборы и системы управления», 1973, № 10.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 30 коп.